

# DFMA erikoisajoneuvon varustelun suunnittelussa

Juha Jauhiainen

Opinnäytetyö

Ammattikorkeakoulututkinto



Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala			
Koulutusohjelma Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma			
Työn tekijä(t) Juha Jauhiainen			
Työn nimi DFMA erikoisajoneuvon varustelun suunnittelussa			
Päiväys	15.4.2011	Sivumäärä/Liitteet	46
Ohjaaja(t) Koulutus- ja kehittämisspäälikkö Anssi Suhonen, yliopettaja Esa Hietikko			
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) JR Tailored Vehicles Oy			
<p>Tiivistelmä</p> <p>Opinnäytetyön aiheena oli erikoisajoneuvon varusteluun käytettävien levyosien suunnittelu. Työn tavoitteena oli levyosien valmistettavuuden ja kokoonpantavuuden kehittäminen sekä 3D-mallien ja valmistuspiirustusten tekeminen. JR Tailored Vehicles Oy halusi kehittää erikoisajoneuvoaan, koska sama malli on ollut käytössä jo lähes 10 vuotta.</p> <p>Työ tehtiin tiiviissä yhteistyössä kokoonpanijoiden kanssa ja kaikki osat mitoitettiin uudelleen. Valtaosa levyosista suunniteltiin leikattaviksi levytyökeskuksella, koska mekaaninen leikkaus on edullisempi kuin terminen leikkaus. Osien 3D-mallit ja piirustukset tehtiin SolidWorks-ohjelmalla ja levyosien taivutukset simuloitiin AutoPOL-ohjelmalla. Levyosien oikaistuihin pituuksiin kiinnitettiin erityistä huomiota, että levyosat ovat oikeankokoisia taivutusten jälkeen. Mallikappaleet tehtiin kolmestatoista levyosasta Savonia-ammattikorkeakoulun hitsaustekniikan laboratoriossa.</p> <p>Työn tuloksena levyosien paksuusvalikoima ja käytetyt materiaalilaadut vähenivät puoleen. Näin osien valmistus nopeutuu ja hukkamateriaalia jää vähemmän. Sovitusvirheiden poistaminen ja liitososien vähentäminen nopeuttavat kokoonpanoa. Lisäksi yritys saa käyttöönsä levyosien valmistuspiirustukset. Osa suunnitelluista osista on jo tuotannossa, koska niissä olleet virheet aiheuttivat aiemmin ylimääräistä työtä ja hidastivat kokoonpanoa. Työssä tehtiin myös piirustuslista, jossa ovat käytetyt materiaalit, levypaksuudet ja taivutussäteet. Piirustuslistan avulla uusien levyosien suunnittelu on nopeampaa, koska kaikki levyosissa tarvittavat materiaalitiedot ja taivutussäteet voidaan valita listalta.</p>			
Avainsanat valmistettavuus, kokoonpantavuus, ohutlevy, levyosien suunnittelu, särmäyksen simulointi			
Julkinen			

Field of Study Technology, Communication and Transport			
Degree Programme Degree Programme in Mechanical Engineering			
Author(s) Juha Jauhiainen			
Title of Thesis DFMA in the Design of a Special Vehicles Buildup			
Date	April 15, 2011	Pages/Appendices	46
Supervisor(s) Mr. Anssi Suhonen, Head of Engineering and Technology, Mr. Esa Hietikko, Principal Lecturer			
Project/Partners JR Tailored Vehicles Oy			
<p>Abstract</p> <p>The subject of this final project was to design sheet metal parts of a special vehicle. The aim was to develop manufacturability and assembly. Another aim was to make 3D models and drawings. JR Tailored Vehicles Oy wanted to develop their special vehicle because the same model has been for almost 10 years in use.</p> <p>The work was carried out in co-operation with assemblers. All parts were redimensioned. Most of the sheet metal parts were designed to be cut with a punching machine because mechanical cutting is more economical than thermal cutting. Models and drawings were made by using the program SolidWorks. The bends of the sheet metal parts were simulated by using the program AutoPOL. Attention was focused on the flat patterns so that the dimensions of the sheet metal parts would be accurate after bending. The prototypes were made in the laboratory of Savonia University of Applied Sciences.</p> <p>The range of used materials and sheet thicknesses was reduced by 50 %. Manufacturing became faster and waste material will be decreased. Fitting problems and coupling parts were significantly decreased. The new manufacturing drawings are available to the company. The design of new sheet metal parts is faster, because a designer can choose materials, thicknesses and bending radius from a drawing list made during the final project.</p>			
Keywords Manufacturability, assembly, sheet metal, design of sheet metal parts, bending simulation			
Public			

## ALKUSANAT

Haluan kiittää erityisesti JR Tailored Vehicles Oy:n toimitusjohtaja Jarkko Repoa mielenkiintoisesta opinnäytetyön aiheesta ja kaikkia yrityksen työntekijöitä sujuvasta yhteistyöstä. Kiitokset myös hitsaustekniikan laboratoriomestari Juhani Mikkoselle NC-ohjelmien tekemisen ja levytyökoneiden käytön opastuksesta, joka mahdollisti itsenäisen työskentelyn. Kiitokset opinnäytetyön ohjauksesta kuuluvat Savonia-ammattikorkeakoulun koulutus- ja kehittämispäällikkö Anssi Suhoselle ja yliopettaja Esa Hietikolle.

Kuopiossa 15.4.2011

Juha Jauhiainen

# SISÄLTÖ

1	JOHDANTO .....	7
2	DFX-MENETELMÄT TUOTEKEHITYKSESSÄ.....	9
2.1	DFA-menetelmä .....	10
2.1.1	Osien vähentäminen .....	10
2.1.2	Käsittelyn helpottaminen .....	11
2.1.3	Asennuksen ja laadunvalvonnan helpottaminen.....	11
2.1.4	Kokoonpantavuuden arviointityökalut .....	13
2.2	Materiaalien ja valmistusmenetelmien yhtenäistäminen.....	15
2.2.1	Käytössä olevat levymateriaalit ja -paksuudet .....	15
2.2.2	Materiaalien ja levypaksuuksien valinta .....	16
2.2.3	Valmistusmenetelmien yhtenäistäminen.....	19
2.3	DFM-menetelmä.....	20
2.3.1	DFM:n soveltaminen konseptisuunnittelussa .....	21
2.3.2	Valmistettavuuden parantaminen .....	22
3	TAIVUTUKSEN PERUSTEET .....	26
3.1	Taivutussäde .....	26
3.2	Takaisinjousto .....	27
3.3	Oikaistu pituus.....	29
3.4	Särmättävyys.....	31
4	LEVYOSIEN SUUNNITTELU .....	32
4.1	Työprosessi.....	32
4.2	Liitosmenetelmät .....	33
4.3	Kaikkia levyosia koskevat muutokset.....	34
5	TAIVUTUSTEN SIMULOINTI JA MALLIKAPPALEIDEN VALMISTUS .....	36
6	YHTEENVETO.....	43
	LÄHTEET .....	45

## 1 JOHDANTO

Tämä opinnäytetyö on osa Vuoden 2015 erikoisajoneuvo -projektia. Projektin tarkoitus on uudistaa nykyisen erikoisajoneuvon ulkonäköä sekä nopeuttaa ja helpottaa osien valmistusta ja kokoonpanotyötä. Kehitystyö sai alkunsa JR Tailored Vehicles Oy:n halusta tehdä uudistettu erikoisajoneuvomalli, koska vanha on ollut käytössä jo lähes 10 vuotta.

Projekti koostuu kolmesta osa-alueesta: metalliosat, korokekatto ja sisustus. Tämän opinnäytetyön tavoitteena on nykyisten metalliosien valmistettavuuden ja kokoonpantavuuden parantaminen sekä 3D-mallien ja valmistuspiirustusten tekeminen SolidWorks-ohjelmalla. Metalliosien tarpeellisuus, materiaalit ja materiaalivahvuudet mietitään uudelleen. Levyosien valmistusmenetelmiä yhtenäistetään ja taivutukset simuloidaan AutoPOL-ohjelmalla. Viimeisenä vaiheena on mallikappaleiden valmistus ja niiden sopivuuden varmistaminen korirakenteisiin. Tarvittaessa 3D-mallit ja piirustukset korjataan.

Metalliosat koostuvat suurimmaksi osaksi ohutlevyosista, joiden lisäksi on kaksi putkirunkoa. Osia käytetään Volkswagen Transporter T5 -pakettiauton varustelemiseen erikoisajoneuvoksi. Muotoiluakatemian opiskelijat Aleksi Luhta ja Jori Venäläinen tekevät korokekaton ja sisustan muotoilun sekä 3D-mallit osien valmistusta varten. Korokekatto ja sisustan osat ovat lasikuitua.

Teoriaosassa kerrotaan DFX-menetelmistä tuotekehityksessä ja siitä, kuinka DFMA-menetelmää voidaan soveltaa levyosien valmistukseen ja kokoonpanoon. Taivutuksen perusteissa kerrotaan, mitkä asiat vaikuttavat taivutetun tuotteen lopputulokseen. Levyosien suunnittelu -luvussa esitellään työprosessi ja levyosien merkittävimmät muutokset. Viimeiseksi käsitellään levyosien simulointia ja mallikappaleiden valmistusta, joissa tehtiin mielenkiintoisia ja merkittäviä havaintoja.

JR Tailored Vehicles Oy on Kuopiossa toimiva erikois- ja turvallisuusajoneuvojen varusteluun ja suunnitteluun erikoistunut yritys. Yritys on perustettu vuonna 2008. Yritys työllistää tällä hetkellä vajaat 10 työntekijää ja useita alihankkijoita, joilta tulevat muun muassa elektroniikkakomponentit sekä lasikuitu- ja metalliosat.

Tästä opinnäytetyöstä on tehty julkinen ja salainen versio. Julkisesta versiosta on poistettu joitain kuvia, lukuja ja kaikki liitteet yrityksen pyynnöstä. Poistettuun materiaaliin kuuluvat piirustukset ja yksityiskohtaiset rakenneratkaisut. Poistettujen tietojen kohdalla ei ole erillistä poistettu -mainintaa tässä julkisessa versiossa.



## 2 DFX-MENETELMÄT TUOTEKEHITYKSESSÄ

DFX on lyhenne sanoista Design For X, jossa X tarkoittaa suunnittelussa huomioon otettavaa asiaa (Hietikko 2008, 153). X voi tarkoittaa esimerkiksi seuraavia asioita: manufacturability, assembly, welding assembly, environment, reliability, service, packaging tai testing (Yang & El-Haik 2008, 175). Tuote voidaan suunnitella esimerkiksi ottaen huomioon hitsauskokoontaminen, mistä käytetään lyhennettä DFWA (Design For Welding Assembly). Jos suunnittelussa otetaan huomioon ympäristö, käytetään lyhennettä DFE (Design For Environment). Tässä työssä levyosien suunnitteluun käytetään DFA (Design For Assembly) - ja DFM-menetelmää (Design For Manufacturability). DFA-menetelmässä otetaan huomioon tuotteen kokoonpantavuus ja DFM-menetelmässä tuotteen valmistettavuus.

DFX-menetelmät ovat osa tuotesuunnittelua. Niillä voidaan vähentää elinkaarikustannuksia, parantaa laatua sekä lisätä tehokkuutta ja tuottavuutta. Suurin hyöty DFX-menetelmistä saadaan käyttämällä rinnakkaissuunnittelua, jossa suunnittelutiimi koostuu eri alojen ammattilaisista, kuten tuotekehityksen, valmistuksen ja markkinoinnin ammattilaisista. Rinnakkaissuunnittelusta käytetään myös nimitystä concurrent engineering. (Yang & El-Haik 2008, 353.)

Tuotekehityksen tulisi koostua kolmesta osasta: DFA:sta, materiaalien ja valmistusmenetelmien valinnasta sekä yksittäisten osien DFM:stä. Menetelmien soveltamisjärjestys johtuu siitä, että ensin pyritään vähentämään tuotteen osien lukumäärää, minkä jälkeen kehitetään vain jäljelle jääviä välttämättömiä osia. Jos menetelmiä sovellettaisiin päinvastaisessa järjestyksessä, kehitettäisiin myös turhia ja tarpeettomia osia, jotka havaittaisiin vasta DFA-menetelmää sovellettaessa. DFA-menetelmän jälkeen valitaan materiaalit ja osien valmistusmenetelmät, jotta ne olisivat mahdollisimman standardoituja ja yhdenmukaisia kaikilla tuotteen tai tuoteperheen osilla. Näiden kolmen osan soveltamista tuotekehitykseen kutsutaan DFMA-menetelmäksi. (Geng 2004, 2.1.)

DFA- ja DFM-menetelmiin on olemassa useita erilaisia suunnittelusääntöjä, jotka on koottu kirjallisuudessa taulukoiksi. Taulukoissa on esitetty hyvä ja huono suunnittelu-yksityiskohta ja selitetty tarkemmin kuvan tarkoitusta. Tällaisia taulukoita ei esitellä tässä työssä, vaan niistä kerrotaan tärkeimmät huomioon otettavat asiat levyosien suunnittelussa.

## 2.1 DFA-menetelmä

DFA-menetelmässä otetaan huomioon tuotteen ominaisuudet ja kokoonpanoprosessi. Tuotteen ominaisuuksia ovat koko, symmetria, paino, asemoitavuus ja muodot. Kokoonpanoprosessi käsittää osien käsittelyn, asennuksen ja laadunvalvonnan. (Yang & El-Haik 2008, 354.) DFA:n tavoitteena on yksinkertaistaa tuotteen rakennetta vähentämällä osia. Jokainen tuotteesta vähennetty osa vähentää kustannuksia, koska osaa ei tarvitse suunnitella, valmistaa, tarkastaa, ostaa, kuljettaa, varastoida, kierrättää ja hävittää. Osia vähentämällä tuotteen kokoonpano on helpompaa ja nopeampaa. Joskus kokoonpanotyö voidaan jättää kokonaan pois, jos tuotteen piirteet saadaan yhdistettyä. (Lempiäinen & Savolainen 2003, 44.)

Tuote olisi hyvä suunnitella ottaen huomioon automaatio, mikä helpottaa usein myös manuaalista kokoonpanoa (Lempiäinen & Savolainen 2003, 81). Kokoonpano vaatii yleensä enemmän työvoimaa kuin osien valmistus, joka on usein pitkälle automatisoitua. Siksi kokoonpanotyö voi muodostaa yhden suurimmista yksittäisistä kustannuksista tuotteen valmistuksessa. Yksinkertaisesta kokoonpanosta on hyötyä tuotteen koko elinkaaren ajan, sillä helposti kokoonpantava tuote on yleensä myös helppo purkaa huoltoa, korjausta tai kierrätystä varten. Lisäksi yksinkertaiset kokoonpanot saadaan nopeammin markkinoille, koska niissä on vähemmän osia, joita pitää suunnitella, tarkastaa ja varastoida. (Bralla 1999, 7.3.)

### 2.1.1 Osien vähentäminen

Osien määrää voidaan vähentää monella tavalla. Hitsattu kokoonpano voidaan joskus korvata valuosalla tai levyrakenteella. Liitososia voidaan vähentää käyttämällä yhdistettyjä liitososia, kuten ruuveja, joissa on integroitu aluslevy. Käyttämällä porakärkiruuveja vältetään ruuvi-mutteri-aluslevy-yhdistelmät sekä reikien ja kierteiden koneistukset. Integroidut hakaset ja ulokkeet sopivat mitä erilaisimpiin kiinnityksiin, joille ei aseteta suuria lujuusvaatimuksia. Niiteillä voidaan vähentää kierteitettyjä tai muita mutkikkaampia liitososia. Lisäksi useita pieniä liitososia voidaan korvata muutamalla isompikokoisella liitososalla. (Bralla 1999, 7.7, 7.15.)

Osan tarpeellisuus voidaan arvioida seuraavilla kysymyksillä:

- Liikkuuko osa muihin osiin nähden, kun tuotetta käytetään?
- Pitääkö vierekkäisten osien olla eri materiaalia?
- Jos osat yhdistetään, vaikeutuuko tai tuleeeko kokoonpano tai huolto mahdottomaksi?

Jos kaikkiin kysymyksiin vastataan ”ei”, osa voidaan mahdollisesti yhdistää muihin osiin. (Bralla 1999, 7.7.)

### 2.1.2 Käsittelyn helpottaminen

Seuraavat kappaleen ominaisuudet vaikeuttavat kappaleiden käsittelyä: pieni, painava, joustava, särkyvä, terävä, kuuma ja takertuva. Tällaisia ominaisuuksia olisi mahdollisuuksien mukaan vältettävä kappaleiden suunnittelussa. Osa on pieni, jos sen suurin mitta on 6 mm. Tätä pienemmät osat tarvitsevat tartuntatyökalun. (Lempiäinen & Savolainen 2003, 72–73.) Esimerkiksi pienille ruuveille voidaan käyttää magneettista ruuvauskärkeä. Painaville osille on puolestaan käytettävä nostoapuvälineitä. Joustavat osat ovat hankalia, jos ne taipuvat jo omasta painostaan (Geng 2004, 2.7). Myös teräviä ja helposti särkyviä osia on vältettävä käsin asennuksessa työturvallisuuden vuoksi. Osien käsittelyä helpotetaan suunnittelemalla osat siten, että ne eivät takerru kiinni toisiinsa (Geng 2004, 2.7). Esimerkiksi molemmista päistä suljettu jousi ei takerru niin helposti muihin jousiin, kuin jos molemmat päät olisivat avoimet. Toinen esimerkki ovat pinotut laatikkomaiset kappaleet, joita on usein vaikea irrottaa toisistaan. Takertuminen voidaan estää päästöillä ja pohjan korokemuodolla, joka estää laatikoiden painumisen kiinni toisiinsa pohjia myöten. (Pahl, Beitz, Feldhusen & Grote 2007, 384.)

### 2.1.3 Asennuksen ja laadunvalvonnan helpottaminen

Yleisin virhe kokoonpanoissa johtuu väärin asennetuista osista (Lempiäinen & Savolainen 2003, 78–79). Osat tulisi suunnitella asennettavaksi vain yhdellä tavalla. Tätä suunnitteluperiaatetta kutsutaan Poka Yoke -periaatteeksi, jonka kehitti japanilainen tuotantoinsinööri Shigeo Shingo saavuttaakseen nollavirhetason. (Yang & El-Haik 2008, 175.)

Osan asennus yhdellä tavalla onnistuu suunnittelemalla osa symmetriseksi, jolloin ei ole väliä, miten perin osa asennetaan, tai suunnittelemalla osa selkeästi epäsymmetriseksi esimerkiksi ulkoreunan lisäpiirteellä. Oikea- ja vasenkätiset osat tulisi mahdollisuuksien mukaan tehdä samanlaisiksi. Näin vähennetään piirustusten ja varastoitavien nimikkeiden määrää.

Osien asennusta voidaan helpottaa myös moduloinnilla, joka tarkoittaa tuotteen jakamista osakokoonpanoihin. Moduloinnilla pyritään osien vähentämiseen ja samanlaisten osien käyttämiseen useissa tuotevariaatioissa. Tämä nopeuttaa myös huolto- toimenpiteitä, koska moduulit toistuvat samanlaisina kaikissa tuotteissa. (Lempiäinen & Savolainen 2003, 47, 51.) Moduuleissa ja kokoonpanoissa yleensäkin on suosittava yhtä kokoonpanosuuntaa. Helpoin on ylhäältä alas -suunta, joka soveltuu myös automatisoitavaksi.

Kokoonpanoissa käytettävät liitosmenetelmät on valittava tuotekonseptivaiheessa (Lempiäinen & Savolainen 2003, 46). Liitosmenetelmien tulisi olla yksinkertaisia ja liitososina olisi käytettävä standardoituja komponentteja (Pahl ym. 2007, 377). Liitoksia ja liitososia olisi myös käytettävä mahdollisimman vähän, sillä ne lisäävät kokoonpanoaikaa. Erilaisten työkalujen käytöltä välttyään suosimalla samoja liitososia tuotteen eri kohdissa. Työkalulle on myös varattava tilaa, jotta työkalua voidaan käyttää eikä sitä tarvitse sovitella.

Kokoonpanoissa ei aina voida välttää useiden osien kiinnitystä samalla liitososalla. Toinen henkilökään ei aina voi auttaa osien pienen koon tai rajoittuneen näkymän vuoksi. Tästä syystä useita samanaikaisia sovitustehtäviä ja tiukkoja toleransseja on vältettävä, koska ne hidastavat aina kokoonpanotyötä. Asennettavan osan ympärillä tulisi myös olla riittävästi tilaa. Osaa voi liikutella tai pitää paikallaan toisella kädellä ja liitososan voi asentaa toisella. Kokoonpanotyö on helpointa, kun osaa ei tarvitse pidellä ollenkaan vaan se asemoituu itsestään ja pysyy paikallaan liitososan kiinnityksen ajan. Paikallaan pysyminen edellyttää stabiilia runko-osaa, jollainen tulisi olla kaikissa kokoonpanoissa. Osan asemointia helpottavat erilaiset ulkopinnan yksityiskohdat, kuten ohjaustapit, sokat, olakkeet, viisteet tai reiät. (Lempiäinen & Savolainen 2003, 73–75.)

Kokoonpanon liitosten ja testattavan kokonaisuuden tulee olla kokoonpanijan, ei erillisen tarkastajan tarkastettavissa. Tarkastus on suoritettava niin, että kokoonpanija voi todentaa sen heti kokoonpanon päätyttyä. Liitoksen onnistuminen on mahdollisuuksien mukaan varmistettava näkö-, kuulo- tai tuntoaistin avulla. Liitoksen varmistus onnistuu parhaiten, kun liitos jää näkyville. (Lempiäinen & Savolainen 2003, 46.)

#### 2.1.4 Kokoonpantavuuden arviointityökalut

Kokoonpantavuuden arvioinnissa voidaan käyttää suunnittelukatselmuksia, suunnittelusääntöjä, tarkistuslistoja ja ohjelmistoja (Lempiäinen & Savolainen 2003, 151–155). Bässlerin menetelmän suunnittelusäännöistä ei ollut saatavilla kuin liittämistekniikan sääntöjä, joten säännöstöä ei voitu hyödyntää tehokkaasti työn aikana. Ohjelmistoja ei esitellä lainkaan, koska niitä on monia erilaisia ja niitä ei käytetty tässä työssä.

Suunnittelukatselmuksissa tarkistetaan, missä vaiheessa tuotekehitysprojekti on menossa. Lisäksi arvioidaan tuotesuunnittelijan suunnitelmia eri näkökulmista ja etsitään ratkaisuja esiin tulleisiin ongelmiin. Katselmuksissa voidaan tehdä make-or-buy-valintoja ja päättää tuotteen valmistusmenetelmistä. (Lempiäinen & Savolainen 2003, 151.) Työn aikana pidettiin useita suunnittelukatselmuksia, joissa esiteltiin vaihtoehtoisia ratkaisuja. Parhaat suunnitelmat mallinnettiin ja niistä tehtiin mallikappaleet työn lopussa.

Saksalaisen tohtori Rudolf Bässlerin kokoonpanotyön suunnittelusäännöt ovat yhdistelmä arvo- ja kokoonpantavuusanalyyseistä. Suunnittelusäännöt perustuvat hänen Stuttgartin yliopistossa vuonna 1987 tekemäänsä väitöskirjaan. Bässlerin menetelmässä ei oteta huomioon kokoonpanoaikaa vaan kokoonpanotyön suhteellinen vaikeus. Menetelmässä tarkastellaan neljää tuotteen kokoonpanoon vaikuttavaa tasoa: tuotteen rakennetasoa, osakokoonpanotasoa, osatasoa ja liittämistekniikoita. Jokaisella tasolla on useita suunnittelusääntöjä, joiden tärkeys kokoonpanon kannalta on jaettu kolmeen luokkaan: A = hyvin tärkeä, B = tärkeä ja C = vähemmän tärkeä. Näiden lisäksi sääntöjä voidaan soveltaa neljässä eri suunnitteluvaiheessa: tehtävän asettelu, luonnostelu, kehittäminen ja viimeistely. (Lempiäinen & Savolainen 2003, 152.) Bässlerin menetelmän suunnittelusäännöistä annetaan esimerkki taulukossa 1, jonka tarkoitus on hahmottaa säännöstön rakenne.

TAULUKKO 1. Muutama Bässlerin menetelmän liittämistekniikan suunnittelusääntö (Lempiäinen & Savolainen 2003, 153).

Suunnittelusääntö	Tärkeys	Vaihe
Käytä vähän erilaisia liitosmenetelmiä	B	Luonnostelu
Vähennä liitososia (ruuvit, niitit ym.)	A	Kehittely
Kaikkien liitospintojen oltava osakokoonpanon samalla sivulla	A	Luonnostelu/ Kehittely
Tee liitos yksinkertaisilla työkaluilla	B	Kehittely
Valitse aikaa säästäviä liitososia (porakärkiruuvit)	A	Kehittely
Vältä alta tehtävää liitostyötä	A	Kehittely
Runko-osan on tarjottava riittävät liittämismahdollisuudet	C	Luonnostelu/ Kehittely

Erilaiset tarkistuslistat ovat yksinkertaisimpia tapoja arvioida tuotteen kokoonpantavuutta. Tarkistuslistapohjia on tehty manuaalista ja automatisoitua kokoonpanoa varten. Pohjia voidaan muokata helposti yrityksen tarpeisiin sopiviksi. (Lempiäinen & Savolainen 2003, 154–155.) Seuraavassa tarkistuslistassa (Lempiäinen & Savolainen 2003, 154–155; Pahl ym. 2007, 378–382) on koottu muutamia kokoonpanotyön arviointiin sopivia kysymyksiä, joita käytettiin tässä työssä.

1. Onko osa symmetrinen?
2. Onko epäsymmetria helposti huomattavissa?
3. Pysykö osa tukevasti paikoillaan, kun se on aseteltu oikeaan kohtaan kiinnittämistä varten?
4. Onko osaan tehty ohjauksia, jotka helpottavat kokoonpanoa?
5. Onko osan paikalleen asettamisessa käytettävä voimaa?
6. Voidaanko osien määrää tuotteessa vähentää?
7. Voidaanko osia yhdistellä toisiinsa, jotta osamäärä vähenee?
8. Onko tuote jaettu osakokoonpanoihin?
9. Tarvitaanko erillisiä liitososia?
10. Käytetäänkö samoja liitososia mahdollisimman paljon?
11. Voidaanko liitososien määrää vähentää?
12. Voidaanko liitosten määrää vähentää?
13. Onko jokaisessa kokoonpanossa selkeä runko-osa?
14. Täytyykö tuote testata kokoonpanon jälkeen?
15. Onko visuaalinen tarkastus mahdollista?
16. Onko osilla tiukkoja toleranssivaatimuksia?
17. Onko osa liian pieni ja tarvitaanko tartuntatyökalu?
18. Onko osa liian iso yhden ihmisen käsiteltäväksi?
19. Käytetäänkö integroitua liitososia?
20. Onko työkalulle varattu riittävästi tilaa?

Yllä olevan listan kolmas kysymys oli haasteellisin, koska ajoneuvon koriin kiinnitettävään osiin ei voinut tehdä ylimääräisiä ulokkeita. Ulokkeet olisivat vaatineet vastaavan kokoisen aukon, jonka valmistaminen koriin olisi ollut vaikeaa. Lisäksi ulokkeet olisivat jääneet aina jonkin verran näkyville.

Yksinkertaisin aukko olisi ollut reikä. Tällöin kappaleisiin olisi pitänyt hitsata tappi, mikä ei tullut kysymykseenkään, koska juuri levyosilla pyrittiin välttämään hitsejä. Useimpia osia on pidettävä paikoillaan yhden liitososan kiinnityksen ajan. Tämä ei kuitenkaan merkittävästi hidasta kokoonpanoa, verrattuna niihin ongelmiin joita kokoonpanossa on tällä hetkellä.

## 2.2 Materiaalien ja valmistusmenetelmien yhtenäistäminen

Tässä luvussa kerrotaan käytössä olevista levymateriaaleista ja niiden standardin mukaisista merkinnöistä, joita käytetään piirustusten materiaalitiedoissa. Lisäksi vähennetään levyjen materiaali- ja paksuusvalikoimaa sekä yhtenäistetään levyosien valmistusmenetelmiä. Edellä mainituilla tavoilla nopeutetaan levyosien valmistusta ja pienennetään valmistuskustannuksia.

Levyt jaetaan kahteen ryhmään, ohutlevyihin ja karkeisiin levyihin. Ohutlevyinä pidetään alle 3 mm paksuja, yleensä kylmävalssattuja levyjä. Karkeat levyt ovat paksuudeltaan 3 mm tai enemmän. Ohuimmat karkealevyt ovat kuuma- tai kylmävalssattuja ja paksummat aina kuumavalssattuja. (Aaltonen, Andersson & Kauppinen 1997, 4–7.)

### 2.2.1 Käytössä olevat levymateriaalit ja -paksuudet

Tällä hetkellä käytössä olevat levyosat ovat terästä, alumiinia ja ruostumatonta terästä (RST). Levypaksuuksia on yhteensä 11 ja niitä on sekä kylmä- että kuumavalssattuna. Kylmävalssattujen ohutlevyjen paksuudet ovat 1, 1,25, 1,5 ja 2 mm. Kylmävalssatut ohutlevyt ovat terästä DC01 Am, joka vastaa ominaisuuksiltaan standardia SFS-EN 10130:2006. Joissain osissa käytetään myös sähkösinkittyä ohutlevyä. Kuumavalssatut levyt ovat seostettuja kylmämuovattavia rakenneteräksiä S355MC ja S600MC, jotka vastaavat ominaisuuksiltaan standardia SFS-EN 10149-1:1996. Rakenneteräksen S355MC:n Ruukin kauppanimi on Ruukki Laser 355 MC ja rakenneteräksen S600MC:n SSAB:n kauppanimi on Domex 600 MC. Kuumavalssattujen levyjen paksuudet ovat 3, 4, 5, 6, 8 ja 10 mm. Alumiinin ja ruostumattomien terästen laaduista ei ollut tietoa, sillä niistä valmistettuihin osiin oli käytetty sitä laatua, jota alihankkijalla oli ollut käytettävissä. Käytössä olevan alumiinilevyn paksuus on 1,5 mm ja RST-levyjen paksuudet ovat 1, 1,5 ja 2,5 mm.

Kylmävalssatun teräsohutlevyn merkintä voi olla esimerkiksi DC03 Bg. D tarkoittaa kylmämuovattavaa, C kylmävalssattua ja numero ilmaisee muovattavuuden. Mitä suurempi numero, sitä paremmin muovattavaa teräs on. Standardin mukaisia numeroita ovat kokonaisluvut 1–7. Muovattavuuden mukaan luokiteltujen terästen myötölujuutta ei taata. Loppukirjaimet Bg ilmoittavat pinnanlaadun ja pinnankarheuden. Pinnanlaaduna voi olla A tai B. Luokka A sallii pienet virheet, jotka eivät vaikuta muovattavuuteen tai pinnoitettavuuteen. Luokan B levyssä toisen puolen on oltava virheetön ja toisen puolen on täytettävä vähintään luokan A vaatimukset. Pinnankarheusluokat on esitetty taulukossa 2 kirjaintunnuksen ja keskipoikkeaman avulla. Kylmävalssattujen levyjen myötöraja on 150–280 MPa. (SFS-EN 10130, 8–12, 18.)

TAULUKKO 2. Kylmävalssatun teräsohutlevyn pinnankarheusluokat (SFS-EN 10130, 12).

Pinnankarheus	Tunnus	Keskipoikkeama
Kirkas	b	$R_a \leq 0,4 \mu\text{m}$
Puolikirkas	g	$R_a \leq 0,9 \mu\text{m}$
Himmeä	m	$0,6 \mu\text{m} < R_a \leq 1,9 \mu\text{m}$
Karhea	r	$R_a > 1,6 \mu\text{m}$

Merkintä S355MC tarkoittaa rakenneterästä (Structural), jonka myötölujuuden vähimmäisarvo on  $355 \text{ N/mm}^2 = \text{MPa}$ . Myötölujuuden jälkeen olevassa merkinnässä M tarkoittaa termomekaanisesti valssattua ja C kylmämuovattavaa (SFS-EN 10149-1, 8). S600MC teräksen myötölujuus on niin suuri, että se kuuluu suurlujuusteräksiin.

### 2.2.2 Materiaalien ja levypaksuuksien valinta

Työn alkaessa yritykseltä saatiin lista, jossa oli suunniteltavat osat sekä niiden käytössä olevat ja tulevat piirustusnumerot. Materiaalien ja levypaksuuksien yhdenmukaistaminen aloitettiin kirjaamalla Excel-taulukkoon jokaisen osan kohdalle nykyinen levymateriaali ja -paksuus. Jos paksuutta tai materiaalia muutettiin, merkinnät tehtiin viereisiin sarakkeisiin. Levyosissa käytetään vähiten RST:tä ja alumiinia, joten oli helpointa aloittaa niiden muutoksilla.

RST-levyä käytetään käsivalaisimen kiinnittämisessä ja tukemisessa sekä tuuletusritilöissä. Kiinnike on 2,5 mm, tuki 1,5 mm ja ritilä 1 mm RST levyä. Tuen tarkoitus on estää valaisimen tahaton irtoaminen laturista. Kaikki osat tulevat ajoneuvon sisätilaan ja olosuhteet eivät ole korrodoivia, joten RST-levy vaihdettiin kylmävalssattuun teräslevyyn.



Kiinnikkeen levypaksuudeksi valittiin 3 mm ja tuen 2 mm. Molempien osien on oltava tukevia, koska valon irrottamiseen ja asettamiseen tarvitaan jonkin kerran voimaa jousikuormitteisen haarukkapidikkeen vuoksi.

Alumiinia käytetään säilytyslokero väliseinissä, muoviluukkujen jäykisteenä, sähkökeskuksen peitelevyissä ja korin jäykisteessä. Muoviluukkujen jäykisteet toimivat saranoiden ja kahvan kiinnitysalustana. Korin jäykiste jätettiin alumiiniseksi, sillä sen koko on reilut  $0,5 \text{ m}^2$  ja paksuus 2 mm. Korin jäykisteeseen ei saanut puuttua, koska taustalla olivat muut syyt. Alumiinilevyn paksuus kaikissa muissa osissa on 1,5 mm ja ne vaihdettiin 1 mm kylmävalssattuun teräslevyyn. Alumiinilevyä tarvitaan osiin noin  $1,7 \text{ m}^2$ . Alumiinin tiheys on  $2,7 \text{ kg/dm}^3$  ja teräksen  $7,85 \text{ kg/dm}^3$  (Koivisto ym. 2004, 76,164). Alumiini on noin  $7,85/2,7=2,9\approx 3$  kertaa terästä kevyempää, mutta tässä tapauksessa sitä tarvitaan levynpaksuutena 1,5-kertaa enemmän. Tällöin teräslevystä valmistetut osat painavat  $2,9/1,5=1,9\approx 2$  kertaa enemmän kuin alumiiniosat. Alumiiniosien paino on yhteensä  $1,7 \text{ m}^2 \times 1,5 \times 10^{-3} \text{ m} \times 2700 \text{ kg/m}^3 \approx 6,9 \text{ kg}$ . Tällöin teräslevyillä painon lisäys on  $6,9 \text{ kg} \times 1,9 - 6,9 \text{ kg} = 6,2 \text{ kg}$  eli hieman yli 6 kg verrattuna alumiiniosiin. Kyseinen paino ei ole merkittävä verrattuna ajoneuvoon asennettavien osien yhteispainoon.

RST:n ja alumiinin käyttöä perusteltiin siistillä ulkonäöllä ja sillä, ettei niitä tarvitse pintakäsittellä. Pintakäsittely ei ole ongelma, koska ajoneuvoon tulevista osista suurin osa menee maalaukseen särmäyksen jälkeen. Teräslevyyn siirryttäessä saavutetaan kustannussäästöjä, sillä alumiinin ja RST:n hinnat ovat korkeampia kuin teräksen. Lisäksi osien valmistus nopeutuu, kun levypinoa ei tarvitse vaihtaa levytyökeskukselle. Levypinon vaihto ei ole automatisoitu kummassakaan alihankintayrityksessä, vaan levypino vaihdetaan levytyökeskukselle trukilla.

Suurlujuusterästä S600MC:tä käytetään ajoneuvon erikoisosissa. Sen käytöstä luovuttiin ja tilalle vaihdettiin kylmämuovattava rakenneteräs S355MC, koska suurlujuusteräs on arvokasta ja toiseksi sen käyttö ei ollut perusteltua erikoisosien materiaalina. Erikoisosien rakenne on särmätyinä jäykkä, joten materiaalin muutos ei alenna niiden kestävyyttä. Materiaalivahvuus on 3 mm, joka säilytetään samana. Rakenneterästä käytetään myös kaikissa muissa 3 mm paksuissa osissa, koska se soveltuu erinomaisesti kylmämuovaukseen. Normaalialia rakenneterästä ei valittu, koska sen suositellut taivutussäteet ovat paljon suuremmat. Esimerkiksi 8 mm levyjä verrattaessa S355:n pienin suositeltu taivutussäde on 20 mm ja S355MC:n 8 mm (SFS-EN 10025-2, 54; SFS-EN 10149-2, 12). Ruukki takaa S355MC:tä vastaavalle teräkselleen taivutussäteeksi 4 mm (Matilainen, Parviainen, Havas, Hiitelmä & Hultin 2011, 255).

Taulukossa 3 on standardin SFS-EN 10149-2 suositellut vähimmäistaivutussäteet eri levypaksuuksille materiaalille S355MC. Tässä työssä kaikki taivutussäteet valittiin vähintään materiaalin paksuuden suuruisiksi.

TAULUKKO 3. Materiaalin S355MC pienimmät suositellut taivutussäteet eri levypaksuuksille (SFS-EN 10149-2, 12).

<b>Levyn nimellis- paksuus (mm)</b>	<b>Suositeltu vähimmäis- taivutussäde (mm)</b>
$t \leq 3$	$0,25t$
$3 < t \leq 6$	$0,5t$
$t > 6$	$1,0t$

Takatilan istuimen kiinnike on valmistettu 6 mm levystä. Levyn paksuus vaihdettiin 5 mm, koska 6 mm levyä ei ollut käytössä missään muissa osissa. Kiinnikkeeseen tehtiin lisäkulma jäykkyyden kasvattamiseksi, koska istuimen on oltava tukeva. Väliseinäissä on käytössä 6 mm lattakiinnikkeitä, joihin turvavyöt kiinnitetään. Lattakiinnikkeet vaihdettiin 8 mm paksuisiksi, sillä kaikki muut väliseinän kiinnikkeet on valmistettu 8 mm levystä.

Kaikki alle 2 mm paksuisesta levystä valmistetut osat suunniteltiin valmistettavaksi 1 mm levystä. Aikaisemmin käytettiin myös sähkösinkittyä kylmävalssattua levyä, mutta sekin vaihdettiin päällystämättömään kylmävalssattuun levyyn. Mihinkään osaan ei kohdistu suuria rasituksia, joten materiaalipaksuuden vaihto on mahdollista. Lisäksi kylmävalssattu levy on yleisesti käytössä oleva kylmämuokattava laatu.

Muutoksien tuloksena uusissa osissa käytettävät levymateriaalit ovat DC01 Am ja S355MC. Levyjen paksuusvalikoima saatiin pienennettyä yhdestätoista viiteen. Käytetyt paksuudet ovat 1, 2, 3, 5 ja 8 mm, joista paksuudet 1 ja 2 mm ovat kylmävalssattua ohutlevyä DC01 Am ja loput kuumavalssattua kylmämuovattavaa rakenneterästä S355MC. Standardoimalla käytettäviä levypaksuuksia mahdollistetaan useiden eri osien tekeminen samasta levystä, jolloin hukkamateriaalia jää vähemmän. Myös pienten sarjojen valmistaminen on edullisempaa, koska samaa paksuutta ja materiaalia on useassa osassa. Tällöin levyarkki voidaan käyttää loppuun todennäköisimmin samalla kertaa.

### 2.2.3 Valmistusmenetelmien yhtenäistäminen

Levyjen leikkaus-, taivutus- ja maalausmenetelmät määräytyivät alihankkijoiden käyttämien koneiden ja laitteiden mukaan. Alihankkijoilla on käytössään levytyökeskus, laserleikkakone ja särmäyspuristimia. Kappaleet maalataan manuaalisesti jauhe-maalauksella korroosion estämiseksi ja siistin ulkonäön saavuttamiseksi. Kappaleet valmistetaan ja maalataan samassa paikassa, jotta vältetään ylimääräisiltä kuljetuksilta ja varastoinneilta.

Aikaisemmin osa levyosista leikattiin laserilla, vaikka ne olisi voitu leikata levytyökeskuksella. Valmistusmenetelmien käyttöä eri paksuuksille yhtenäistettiin, jotta materiaalien käyttöastetta saadaan suuremmaksi. Lähes kaikki levyosat, jotka valmistetaan 1–3 mm levyistä, suunniteltiin levytyökeskuksen työkaluille sopiviksi. Vasemman takaoven 3 mm paksuinen levyosa on leikattava laserilla, koska siinä on kapea ura, jota ei voi leikata levytyökeskuksella. Osien valmistus levytyökeskuksella on nopeaa ja edullista, koska lävistys on mekaaninen leikkausmenetelmä. Alihankkijalla olevan levytyökeskuksen suurin lävistyskapasiteetti teräkselle on 4 mm, joten 5 ja 8 mm levyistä valmistettavat osat suunniteltiin laserleikattaviksi. Laserilla leikattaviin osiin tehtiin hieman enemmän pieniä pyöristyksiä, koska laser leikkaa pyöreät nurkat jopa nopeammin kuin terävät nurkat (Matilainen ym. 2011, 168).

Laserleikkaukseen suunniteltua kappaletta ei useinkaan voida valmistaa levytyökeskuksella tai ei ainakaan yhtä siististi kuin laserilla. Tämä johtuu siitä, että laserilla leikattu kappale on vapaasti muotoiltavissa mutta levytyökeskuksella leikattavan kappaleen muotoja rajoittavat käytettävissä olevat työkalut. Molemmissa menetelmissä on tietenkin otettava huomioon levyaihion ja työstökoneen koko. Esimerkiksi laserilla tehtävä kapein ura on 0,1–0,5 mm, kun taas levytyökeskuksella leikattava kapein ura on levyn paksuuden levyinen (Kujanpää, Salminen & Vihinen 2005, 133). Kaikki osat olisi voitu valmistaa levytyökeskuksella, jos alihankkijalla olisi ollut levytyökeskuksessa lisälaitteena laserleikkauspää. Tällaista levytyökeskusta kutsutaan kombilevytyökeskukseksi (Matilainen ym. 2011, 182).

Levyjen leikkakoneet ovat nykyisin CNC-ohjattuja. Leikattavan kappaleen muoto syötetään leikkakoneelle yleensä DXF-muodossa, mikä mahdollistaa kappaleiden muutokset nopeasti ja edullisesti. Tämä tekee pienten sarjojen ja yksittäiskappaleiden valmistuksesta tehokasta. Levytyökeskuksen ja laserin tarkkuus on likimain sama  $\pm 0,1$  mm.

Leikkausprosessin mukaan laserilla päästään vielä huomattavasti suurempiin tarkkuuksiin. (Matilainen ym. 2011, 162, 180–181, 210.) Molempien menetelmien leikkaustarkkuus riittää erittäin hyvin tässä työssä valmistettaville levyosille.

Kaikki levyosien taivutukset tehdään särmäyspuristimella, koska se soveltuu erinomaisesti vaihtelevan kokoisille ja paksuisille kappaleille sekä pienerätuotantoon. Lyhyet taivutukset kappaleissa edellyttävät ylä- ja alatyökalujen palasarjoja. Kaikki taivutukset tehdään vapaataivutuksena, koska taivutussäteiden ei tarvitse olla tarkkoja. Litistystä käytetään muutamassa kohdassa, jotta kappaleen reunasta tulee siisti ja viimeistelty. Litistyksellä tarkoitetaan levyn reunojen kääntämistä päällekkäin (Matilainen ym. 2011, 259).

Ennen jauhemaalausta maalattaville kappaleille tehdään joukko huuhtelu- ja puhdistuskylpyjä sekä fosfointi jauhemaalintartunnan varmistamiseksi. Pohjakäsittelyjen jälkeen sähköstaattisesti varattu maalijauhe ruiskutetaan maadoitetun kappaleen pinnalle. Kappaleet uunitetaan 160–200 °C asteessa, jolloin jauhe sulaa muodostaen kiiltävän ja kulutusta sekä kemikaaleja kestävä pinnan. (Geng 2004, 49.3, 49.10–49.11.)

Tämän työn kannalta jauhemaalaus tuo seuraavia etuja verrattuna muihin maalausmenetelmiin: nopeus, mekaaninen kestävyys ja taloudellisuus. Jauhemaalaus on nopeaa, koska yksi maalauskerta on usein riittävä ja kappaleet ovat käsittelyvalmiita heti niiden jäähtyttyä. Lisäksi jauhemaaleja ei tarvitse sekoittaa tai ohentaa. Jauhemaalaus on myös ympäristöystävällinen ja työturvallinen maalausmenetelmä, koska siinä ei synny VOC (Volatile Organic Compounds) -päästöjä (Thompson 2007, 356–359). Ohiruiskutettu jauhemaali voidaan kerätä talteen ja käyttää uudelleen, jolloin jauhemaalintartuttavuus on jopa 99 % (Ashby & Johnson 2010, 320).

### 2.3 DFM-menetelmä

DFM-menetelmässä otetaan huomioon tuotteen valmistettavuus. DFM:ssä tuotteen valmistukseen sovelletaan erilaisia menetelmiä, joilla yksinkertaistetaan tuotteen valmistusta ja vähennetään valmistuskustannuksia. Sovellettavat menetelmät ovat suosituksia, tarkistuslistoja ja perusperiaatteita. DFM-menetelmän etuina tuote toimii paremmin ja luotettavammin, näyttää siistimmältä, on helpommin huollettava ja kierätettävä sekä kuormittaa vähemmän ympäristöä.

Tuotantolaitteiden nopean kehityksen vuoksi suunnittelijan on ymmärrettävä tuotteen valmistettavuus tulevaisuudessa. Jos tuote suunnitellaan käyttäen vanhoja valmistusmenetelmiä, tuotteen kilpailukyky jää huonoksi pitkällä aikajänteellä. (Lempiäinen & Savolainen 2003, 13.)

### 2.3.1 DFM:n soveltaminen konseptisuunnittelussa

Tuotteen osien valmistusmenetelmät valitaan konseptisuunnittelun alkuvaiheessa, jossa DFM:llä on suurin vaikutus. DFM-menetelmää voidaan käyttää myös detaljisuunnittelussa, mutta tässä vaiheessa siitä ei hyödytä enää niin paljon. Paras tuotekonsepti jää usein mieltämättä, koska yksittäisten osien valmistuksen suunnitteluun käytetään monesti paljon suunnitteluresursseja ja aikaa. Tuotekonseptilla tarkoitetaan tuotteen suunnittelu-, valmistus-, markkinointi-, jakelu- ja huoltomenetelmiä, jotka on päätettävä tuotekehityksen alussa. (Lempiäinen & Savolainen 2003, 15.)

Tuotekonseptin suunnitteluun on hyvä käyttää menetelmää, jossa tutkitaan neljää hierarkiatasoa: yritys-, tuoteperhe-, rakenne- ja komponenttitasoa. Tuotekonseptin suunnittelu aloitetaan yritystasolta, josta edetään alemmille tasoille edellä mainitussa järjestyksessä. Ylempien tasojen päätökset tarjoavat pohjan alempien tasojen päätöksille, joten etenemisjärjestyksestä on syytä noudattaa tarkasti. (Lempiäinen & Savolainen 2003, 16–18.)

Yritystasolla tehdyillä päätöksillä on merkittävä vaikutus yrityksen tulevaisuuteen. Tällä tasolla päätetään tuotteiden standardoinnista ja ulkoasusta sekä tutkitaan ja vertaillaan kehitettävää tuotetta ja yrityksen muita tuotteita. Yritystasolla on huolehdittava myös siitä, ettei päällekkäisiä tuotteita kehitetä ja valmisteta useassa paikassa. (Lempiäinen & Savolainen 2003, 16.)

Tuoteperhetason suunnittelulla vaikutetaan merkittävästi tuotteen markkinaelinikään. Tällä tasolla päätetään, miten tuotteet tuodaan markkinoille ja minkälaisia tuotevariantteja tarjotaan. Lisäksi tuotevariantteja tutkitaan ja vertaillaan niiden suhtautumista toisiinsa. Hyödyntäen vanhoja hyväksi todettuja tekniikoita voidaan toteuttaa esimerkiksi uusi, suurempi ja tehokkaampi moottorityyppi. (Lempiäinen & Savolainen 2003, 16.)

Rakennetasolla pyritään ymmärtämään tuotteen rakenteen soveltuvuus tuotantolaitteille. Tällä tasolla voidaan hyödyntää myös benchmarkkaamista etsimällä kriittisiä eroja kilpaileviin tuotteisiin. Suunnittelijan tulisi löytää kriittiset kohteet valmistusprosessista, joka koostuu yleensä osien valmistuksesta, kokoonpanosta, testauksesta, pakkaamisesta, kuljetuksista ja varastoinnista. Tällä tavalla voidaan löytää tuotteen kustannuksia nostavia epäkohtia. (Lempiäinen & Savolainen 2003, 17.)

Komponenttitasolla on otettava huomioon kriittiset komponentit kuten kalliit ja sellaiset joihin liittyy ongelmia. Tällä tasolla on myös harkittava uusia valmistusmenetelmiä, joita on voitu kehittää edellisen tuotteen suunnittelun jälkeen. Lisäksi on varmistettava osien saatavuus hankkimalla useampia toimittajia. (Lempiäinen & Savolainen 2003, 17.)

### 2.3.2 Valmistettavuuden parantaminen

Tuotekehitysprosessin onnistumiseksi on suunnitteluvaiheessa oltava mahdollisimman paljon tietoa tulevasta tuotteesta. Tietoa voidaan hankkia esimerkiksi ottamalla suunnitteluun mukaan eri alojen edustajia tai vanhempia suunnittelijoita asiantuntijasemaan. Lisäksi voidaan benchmarkata ja käyttää erilaisia suunnitteluperiaatteita, joilla tarkoitetaan muun muassa tuotteen valmistusmenetelmien ja liittostyyppien valintaa. Tietokoneohjelmistojä voidaan käyttää esimerkiksi erilaisiin analyyseihin ja simuloointeihin. Tietokoneavusteiset suunnitteluohjelmistot eivät kuitenkaan osaa suorittaa itsenäistä suunnittelua, joten ne eivät korvaa moniosaavia tiimejä. (Lempiäinen & Savolainen 2003, 23–25.)

Suunnittelua voidaan helpottaa standardoinnilla, joka on osa nykyaikaista tuotesuunnittelua ja valmistusta. Suunnittelijan pitäisi aina pyrkiä käyttämään mahdollisimman paljon standardikomponentteja, koska niitä ei tarvitse suunnitella erikseen. Samalla varmistetaan rajapintojen yhteensopivuus. Esimerkiksi kun putkistoissa käytetään saman standardin mukaisia komponentteja, kaikki komponentit sopivat laipoiltaan ja kierteiltään toisiinsa. Standardikomponentit ovat lisäksi helposti saatavilla ja ne ovat aina edullisempia kuin oma- tai alihankintavalmisteiset komponentit.

Päätös siitä, pitäisikö komponentit ostaa vai valmistaa riippuu seuraavista asioista:

- komponenttien määrästä eli onko kyse yksittäiskappaleesta, erästä vai massatuotteesta
- kustannuksista sekä raaka-aineiden ja ostettavien komponenttien toimitusajoista
- käytettävissä olevista tuotantolaitteista ja niiden käyttöasteesta
- halutusta tai käytettävissä olevasta automaatioasteesta.

(Pahl ym. 2007, 374–375.)

Materiaalien taloudellinen käyttö nousee yhä tärkeämmäksi tuotteiden suunnittelussa ja valmistuksessa. Suunnittelijan on muotoiltava tuote sellaiseksi, että materiaalin käyttö on taloudellista. (Keinänen & Kärkkäinen 2009, 216.) Toinen merkittävä keino alentaa materiaalikustannuksia on nestaus eli leikattavien kappaleiden sijoittelu levyarkille (Aaltonen ym. 1997, 13). Oikealla sijoittelulla levynkäyttö saadaan optimoitua ja jätepaloja jää vähän. Pienillä suunnittelumuutoksilla materiaalisäästö voi olla huomattava. Yleensä nestaus on valmistuksen tehtävä, mutta suunnittelija voi vaikuttaa siihen paljon. Esimerkiksi pitkiä ulkonemia olisi mahdollisuuksien mukaan vältettävä ja lyhennettävä, koska ne haittaavat nestautusta (Lempiäinen & Savolainen 2003, 53). Joskus levystä on leikattava suuria kappaleita, joiden keskelle voi jäädä iso käyttämätön alue. Tälle alueelle olisi mahdollisuuksien mukaan sijoitettava pienempiä kappaleita. Nykyään tämä ei ole aina mahdollista, koska lyhentyneet toimitusajat eivät salli tilausten keräämistä. Keräämisen avulla samasta levystä voisi leikata useammalle asiakkaalle erikokoisia kappaleita.

Levyosien suunnittelussa on otettava huomioon työkalun ominaisuudet ja leikkausmenetelmä (Pahl ym. 2007, 367). Esimerkiksi laserille suunniteltu levyosa ei yleensä sovellu levytyökeskukselle, ellei kyse ole erittäin yksinkertaisesta kappaleesta. Mekaanisessa leikkauksessa työkalukustannusten vähentämiseksi on suosittava yksinkertaisia leikkauksia ja kulmikkaita piirteitä. Kaarevia, mutkikkaita ja erittäin kapeita muotoja olisi vältettävä (Pahl ym. 2007, 371). Kapean ulokkeen leveyden tulisi olla suurempi kuin  $1,5 \times t$ , jossa  $t$  on levyn paksuus (Bralla 1999, 3.34). Paljon levytöitä tekeillä yrityksillä on käytössään laaja valikoima erilaisia säde- ja kaarityökaluja. Tästä johtuen nykyaikaisilla levytyökeskuksilla ei ole ongelma tehdä pyöristettyjä nurkkia tai eri säteillä olevia kaaria. Nurkkapyöristykset tekevät osien käsittelystä miellyttävämpää, kun terävät nurkat eivät riko ihoa tai naarmuta pintoja.

Nurkkapyöritykset voidaan tehdä yhdellä iskulla, jos käytettävissä on oikea säteinen pyöritystyökalu. Isompia kaaria voidaan tehdä nakertamalla, mutta jälki ei ole yhtä siisti kuin yhdellä iskulla tehty pyöritys. Nakertamalla tehty kaari on usein riittävän siisti moniin sovelluksiin.

Ohutlevyillä aukon reunan etäisyys levyn reunasta tulisi olla suurempi kuin  $1,5 \times t$ . Jos aukko tehdään taivutuksen lähelle, etäisyys taivutukseen tulisi olla suurempi kuin  $1,5 \times t + r$ , jossa  $r$  on taivutussäde. Jos aukko tehdään lähemmäksi, sen muoto vääristyy ja esimerkiksi pyöreästä reiästä tulee soikea. Työkalun keston kannalta, levyyn lävistettävän reiän halkaisija voi olla pienimmillään levynpaksuuden verran. Jos kappaleessa on useita reikiä, niin reikien välinen etäisyys tulee olla vähintään  $2 \times t$ . (Bralla 1999, 3.27, 3.29.)

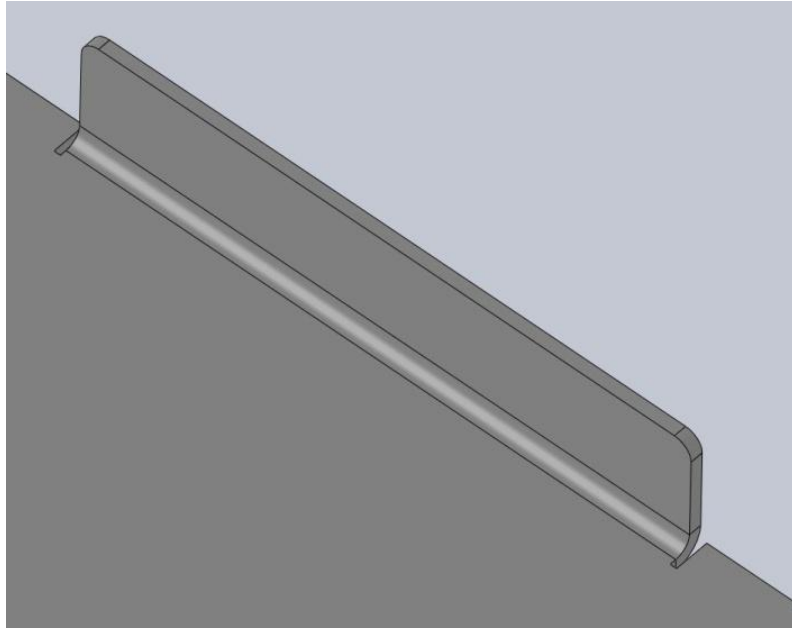
Kierteiden tekeminen ohutlevyihin on ongelmallista, koska materiaalipaksuudet ovat pieniä. Kierteen suurin halkaisija teräksellä ja messingillä voi olla enimmillään  $2 \times t$  sekä alumiinilla, kuparilla ja sinkillä  $1,5 \times t$  (Bralla 1999, 3.35). Nykyaikaisilla levytyökeskuksilla kierre voidaan tehdä levyyn erillisellä kierreitysyksiköllä. Levyyn voidaan tehdä myös kaulus, johon kierre tehdään manuaalisesti kierretyökalulla.

Minimilaippakorkeus eli taivutettavan reunan pienin mahdollinen korkeus voidaan laskea kaavasta  $b = r + 2t$  (Matilainen ym. 2011, 249). Yleensä laippakorkeus on valittava suuremmaksi, että vältetään liian pienien taivutussäteiden käytöltä. Pienet taivutussäteet edellyttävät pientä v-aukon leveyttä. Silloin vastaan voi tulla työkalunkesto, koska pienet taivutussäteet vaativat suuria puristusvoimia.

Kampataivutusta voidaan käyttää taivutettaessa useita samanlaisia pieniä kappaleita. Kampataivutuksessa kappaleet jäävät leikkauksen jälkeen kiinni toisiinsa mikrokiniikkeillä ja kaikki kappaleet taivutetaan kerralla. Taivutuksen jälkeen osat irrotetaan toisistaan ravistelemalla, taivutteleamalla tai pihdeillä. (Matilainen ym. 2011, 263.)

Laatikkomaisissa kappaleissa on huomioitava nurkkien helpotukset, jotta nurkat eivät repeä taivutuksessa. Helpotuksen muoto voi olla pyöreä, neliö, suorakaide tai kyynel. Suorakaiteen muotoinen helpotus on tehtävä myös silloin, kun levyn reuna taivutetaan kuvan 1 mukaisesti.

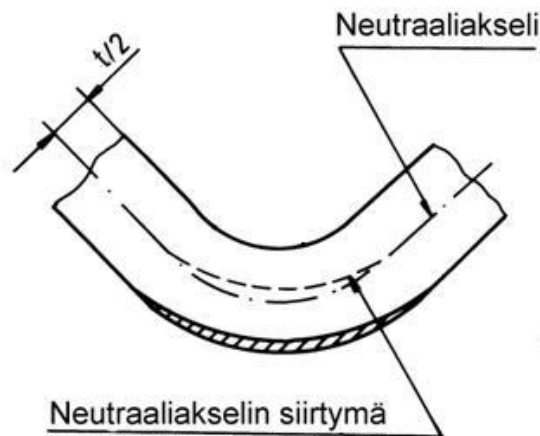




KUVA 1. Levyn reunan taivutusesimerkki, jossa on tehtävä helpotukset taivutuksen päihin.

### 3 TAIVUTUKSEN PERUSTEET

Taivuttamisessa materiaaliin halutaan pysyvä muodonmuutos. Muodonmuutoksen aikaansaamiseksi vaikuttavan voiman on oltava niin suuri, että materiaalin myötöraja ylittyy. Myötörajan ylittymisen jälkeen materiaali ei palaudu alkuperäiseen muotoonsa. Taivutuksessa materiaalin ulkoreuna venyy ja sisäreuna puristuu kasaan eli tyyssäntyy. Taivutuksen ulkoreunalla on tällöin vetojännitystila ja sisäreunalla puristusjännitystila. Taivutuksen kohdalla levy ohenee ja reunoissa tapahtuu muodonmuutoksia. Materiaalin keskiosa eli neutraalitaso pysyy muuttumattomana, joten siellä ei ole myöskään jännityksiä. Neutraalitaso ei ole aina materiaalin geometrisella keskitasolla vaan yleensä lähempänä sisäreunaa johtuen veto- ja puristuspuolen erilaisista muodonmuutoksista (kuva 2). Neutraalitaso siirtyy sitä lähemmäksi sisäreunaa, mitä pienempää taivutussädettä käytetään. (Keinänen & Kärkkäinen 2009, 220.)

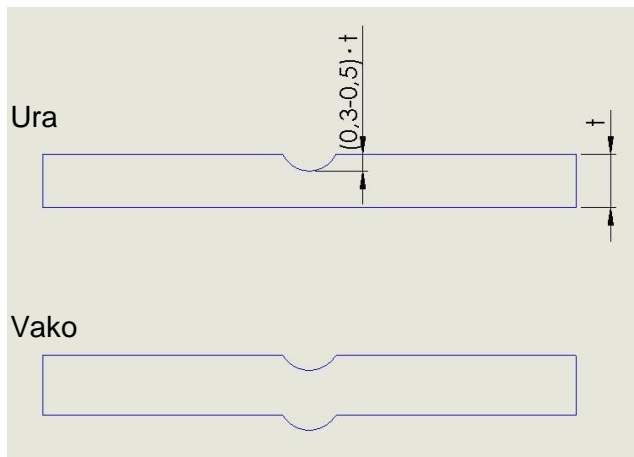


KUVA 2. Neutraaliakseli ja sen siirtymä taivutuksessa (Karppinen 1986, 12).

#### 3.1 Taivutussäde

Taivutussäde määräytyy käytettyjen työkalujen ja taivutusmenetelmän mukaan. Lempiäinen (2003, 53) kertoo kirjassaan, ettei nurkkataivutuksen taivutussädettä saa koskaan suunnitella pienemmäksi kuin 0,8 mm ja taivutussäteeseen tulisi olla vähintään puolet levyn paksuudesta. Käytännössä levytöitä tekevät yritykset suosittelivat taivutussäteeseen minimiarvoksi levynpaksuutta  $t$ . Tällä pyritään siihen, ettei taivutuksen ulkoreuna viru liikaa ja aiheuta murtumia ulkoreunalle. Murtumien syntymistä edistävät pienet taivutussäteet, aihion reunoissa olevat jäysteet ja työkalusta aiheutuvat vetojännitykset taivutuksen aikana (Karppinen 1986, 13).

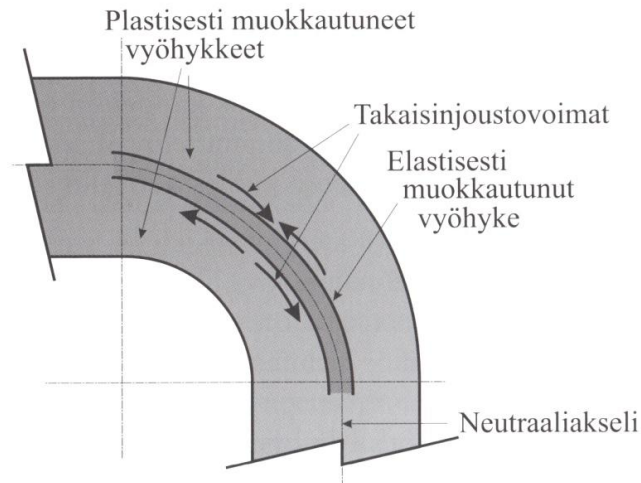
Levyateriaalien pienimmät taivutussäteet tietyille levypaksuudelle on ilmoitettu levyvalmistajien materiaalitiedoissa. Taulukkoarvot on saatu kokeiden perusteella, joissa materiaalin reunat ovat sileät ja virheettömät. Lisäksi taivutus on tehty hitaasti, kitkatomilla työkaluilla ja taivutuskohdassa sallitaan kuroutumia ilman murtumia. Normaleissa ohutlevytöissä olosuhteet eivät ole ihanteelliset, joten pienimpiä sallittuja taivutussäteitä on syytä välttää. Käytettäessä taulukoituja arvoja pienempiä taivutussäteitä levyyn on tehtävä lovi tai ohuille levyille vako. Molemmat menetelmät on esitetty kuvassa 3. Menetelmien käyttöä tulee kuitenkin harkita tarkkaan, sillä niiden tekeminen ei onnistu tavanomaisilla työkaluilla. (Karppinen 1986, 12.)



KUVA 3. Käytettäessä hyvin pieniä taivutussäteitä levyyn on tehtävä ura tai vako (Karppinen 1986, 13).

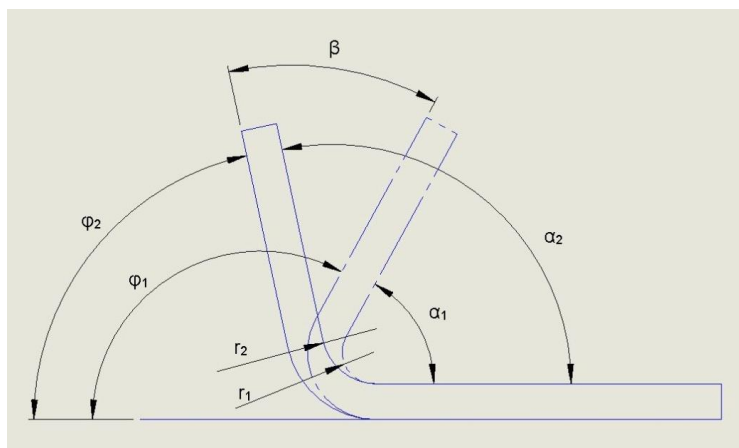
### 3.2 Takaisinjousto

Takaisinjoustolla tarkoitetaan levyateriaalin muodon tietynasteista palautumista taivutusvoiman vaikutuksen loputtua. Levyn palautuminen johtuu sisäisten voimien epätasapainosta. Neutraaliakselin molemmiin puolin ovat plastisesti muokkautuneet jännityksettömät alueet. Niiden keskellä on elastisesti muokkautunut vyöhyke, jonka sisäiset jännitykset pyrkivät palauttamaan levyn alkuperäiseen muotoon (kuva 4). Tätä palautumista vastustavat plastisesti muokkautuneet alueet. Sisäinen voimatasapaino saavutetaan muodon palautumisen eli takaisinjouston tapahduttua. (Karppinen 1986, 14.) Takaisinjoustoon ja taivutukseen liittyviä nimityksiä on esitetty kuvassa 5.



KUVA 4. Taivutuksessa syntyvät takaisinjoustovoimat ja vyöhykkeet (Matilainen ym. 2011, 246).

Takaisinjousto on vaikuttavat monet eri tekijät, jotka tekevät takaisinjouston arvioinnista vaikeaa (Matilainen ym. 2011, 246). Takaisinjousto on vaikuttavat eniten taivutussäde, myötölujuus ja levyn paksuus. Takaisinjousto kasvaa, kun taivutussäde tai myötölujuus kasvaa tai levyn paksuus ohenee. Takaisinjousto riippuu paljon myös materiaalista. Esimerkiksi ruostumattomilla teräksillä on huomattavasti suuremmat takaisinjoustot kuin seostamattomilla teräksillä. (Karppinen 1986, 14.) Toisaalta takaisinjousto ei tarvitse tietää tarkkaan, sillä se voidaan hallita yksinkertaisesti mitaamalla. Ensimmäisen taivutuksen jälkeen mitataan taivutuskulma ja korjaus tehdään tarvittaessa NC-ohjelmaan. Taivutuskulman korjaaminen särmäyspuristimen käyttöpaneelilla on hyvin helppo ja nopea toimenpide. Lisäksi muutos korjautuu automaattisesti kaikkiin samalla NC-ohjelmalla tehtäviin taivutuksiin.



KUVA 5. Takaisinjousto on ja taivutukseen liittyviä suureita. Alaindeksi 1 tarkoittaa suureen arvoa ennen takaisinjoustoja ja alaindeksi 2 takaisinjoustoja jälkeen.  $r$  = taivutussäde,  $\beta$  = takaisinjoustokulma,  $\alpha$  = taivutuskulma ja  $\varphi$  = kaarikulma. (Matilainen ym. 2011, 247.)

### 3.3 Oikaistu pituus

Levytuotteen oikaistua pituutta tarvitaan levyaihion koon määrittämiseen, jotta taivutettu tuote olisi oikean kokoinen. Taivutussäteen ollessa suurempi kuin  $50 \times t$  neutraaliakseli on levyn keskellä ja oikaistu pituus vastaa taivutettua pituutta. Pienempää taivutussädettä käytettäessä neutraaliakseli siirtyy sisäpintaa kohti. Tällöin levy venyy, joten oikaistu pituus on lyhyempi kuin laippojen yhteenlaskettu pituus. (Matilainen ym. 2011, 250.)

Oikaistun pituuden laskemiseen on kehitetty monia kaavoja, jotka antavat likimääräisen tuloksen. Toisissa otetaan huomioon materiaalin venyvyys, ja toiset perustuvat laajoihin kokeellisiin tuloksiin. Joitain kaavoja voidaan käyttää vain silloin, kun taivutussäteet on valittu materiaalin mukaisesti. (Walsh 2000, 11.14.)

Standardin DIN 6935 mukaan oikaistu pituus on

$$L = a + b - v \quad (1)$$

jossa  $a$  ja  $b$  ovat laippojen pituudet (kuva 6) ja  $v$  on levyn paksuuden, taivutussäteen ja taivutuskulman mukaan muuttuva korjaava tekijä. Tekijä  $v$  voidaan laskea taivutuskulman  $\alpha$  vaihdellessa seuraavien kaavojen mukaisesti:

$$0^\circ < \alpha \leq 90^\circ$$

$$v = \pi \left( \frac{180^\circ - \alpha}{180^\circ} \right) \left( r + \frac{s}{2} \times k \right) - 2(r + s) \quad (2)$$

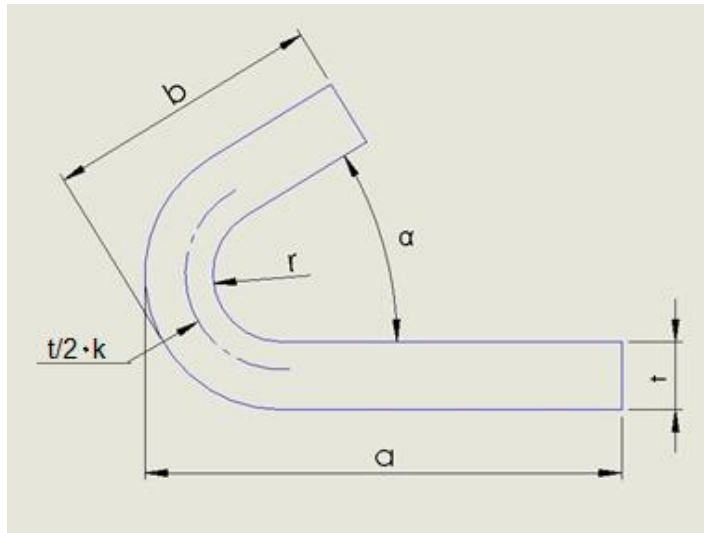
$$90^\circ < \alpha \leq 165^\circ$$

$$v = \pi \left( \frac{180^\circ - \alpha}{180^\circ} \right) \left( r + \frac{s}{2} \times k \right) - 2(r + s) \times \tan \left( \frac{180^\circ - \alpha}{2} \right) \quad (3)$$

$$165^\circ < \alpha \leq 180^\circ$$

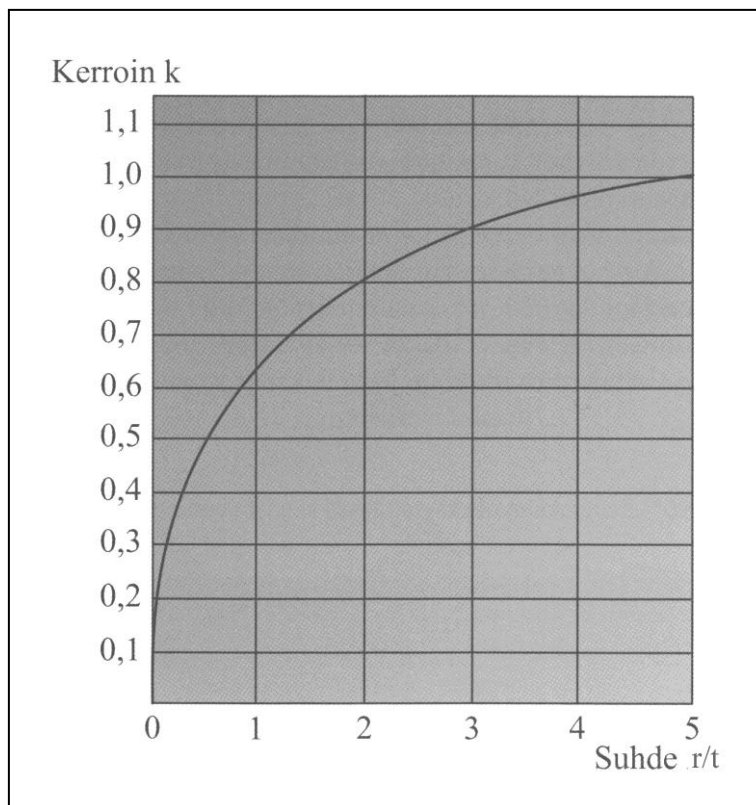
$$v = 0 \quad (4)$$

(Matilainen ym. 2011, 251.)



KUVA 6. Oikaistun pituuden laskennassa tarvittavia suureita:  $a$  = alemman laipan pituus,  $b$  = ylemmän laipan pituus,  $\alpha$  = taivutuskulma,  $r$  = taivutussäde ja  $t$  = levyn paksuus (Matilainen ym. 2011, 250).

Kaavoissa oleva  $k$ -kerroin määräytyy taivutussäteen ja levypaksuuden suhteen kuvion 1 mukaisesti.  $k$ -kerroin ei voi olla suurempi kuin 1, sillä muuten neutraaliakseli olisi taivutuksessa geometrisen keskiviivan ulkopuolella (kuva 6). Käytännössä neutraaliakseli ei voi siirtyä geometrista keskiviivaa ulommaksi vaan on aina taivutuksen sisäsäteen ja geometrisen keskiviivan välissä.



KUVIO 1.  $k$ -kertoimen määrittäminen taivutussäteen  $r$  ja levyn paksuuden  $t$  suhteen (Matilainen ym. 2011, 252).

Nykyiset suunnitteluohjelmat tekevät levityskuvat automaattisesti, joten oikaistua pituutta ei tarvitse laskea käsin. Levityskuvat eivät kuitenkaan aina pidä paikkaansa, sillä ne riippuvat siitä, millä menetelmällä ohjelma laskee oikaistun pituuden. Tässä työssä oikaistu pituus selvitettiin valmistamalla mallikappaleet, joiden mitat syötettiin taivutusten simulointiohjelmaan. Tästä kerrotaan tarkemmin luvussa 5.

### 3.4 Särmättävyys

Särmättävyydellä tarkoitetaan levyn taivutettavuutta. Särmättävyyteen vaikuttavat materiaalin muodonmuutoskyky, taivutusmenetelmä, levyn valssaussuunta ja pinnanlaatu sekä työkalujen kunto (Aaltonen ym. 1997, 43–44). Särmättävyyteen on kiinnitettävä huomiota materiaalin valinnassa. Huonosti särmäystä kestävä materiaali murtuu herkästi taivekohdasta, etenkin pienillä taivutussäteillä. Standardin SFS-EN 10149-1 mukaan levyn kylmämuovattavuus ilmoitetaan kirjaimella C.

## 4 LEVYOSIEN SUUNNITTELU

Tämän luvun alussa selostetaan työprosessin eteneminen. Tämän jälkeen esitellään liitosmenetelmät ja kaikkia levyosia koskevat muutokset, joihin kuuluvat valmistusmenetelmien ja kokoonpanotyön huomioon ottaminen. Niihin levyosiin, joita ei muokattu tai joihin tehtiin vain pieniä muutoksia, ei puututa tässä raportissa. Pienet muutokset ovat esimerkiksi erilaisiin kiinnikkeisiin lisätyt pyöritykset, taivutuskulmien muutokset ja reikien paikkojen muutokset. Edellä mainituilla muutoksilla parannettiin osien istuvuutta ajoneuvon koriin ja lasikuituosiin.

### 4.1 Työprosessi

Ensimmäinen viikko käytettiin osien paikantamiseen ajoneuvosta, jotta tiedettiin missä osat sijaitsevat ja miksi ne ovat käytössä. Tämän jälkeen tehtiin materiaalivalintoja ja selvitettiin alihankkijoiden käyttämät valmistusmenetelmät. Muutamia osia voitiin poistaa kokonaan muuttamalla rakenteita. Suurin osa kappaleista oli niin eri puolilla ajoneuvoa, ettei niiden yhdistely tai käytöstä poistaminen ollut mahdollista. Ennen osien mallintamista jokaisen osan tai osakokoonpanon kohdalla kysyttiin asentajilta, mitä ongelmia osassa tai sen asennuksessa on. Kyselyiden jälkeen osat mitoitettiin ja mallinnettiin ilmenneiden ongelmien poistamiseksi. Vaikka osissa ei olisi ollut asentajien mielestä muutettavaa, niihin tehtiin muutoksia valmistettavuuden parantamiseksi. Yleisimpiä ongelmia olivat kiinnityspisteiden väärät sijainnit, osien sopivuus niille tarkoitettuun kohtaan ja osien asettelu oikeille paikoille ennen liitososien asennusta.

Osien mallinnus oli haastavaa, koska ajoneuvosta ei ollut 3D-mallia, johon osia olisi voinut sovittaa. Lisäksi ajoneuvon muodot olivat monessa kohdassa kaarevia useampaan suuntaan ja särmien pyörityssäteet saattoivat muuttua. Sellaisten muotojen tekeminen tavallisella särmäyspuristimella on mahdotonta, koska sillä voidaan tehdä vain suoraviivaisia ja samalla taivutussäteellä olevia taivutuksia. Muuttuvan taivutussäteen tekemiseksi yläpalkilla pitäisi olla kaksi akselia, joita voidaan säätää toisistaan riippumatta (Mäki-Mantila 2001, 9).

Niissä kohdissa, joissa levyosan oli muotoiltava mahdollisimman tarkkaan särmän pyörityksiä, käytettiin apuna ohuita alumiinilevysuikaleita. Suikaleet taivutettiin särmän ympäri, minkä jälkeen sisäkaaren muoto piirrettiin paperille. Tähän muotoon piirrettiin tangentit, minkä jälkeen säde mitattiin harpilla ja kulma mitattiin astemitalla.



Tiettyihin erikoisosiin tulevia loivia ja pitkiä kaaria mallinnettiin käyttämällä apuna valokuvausta. Valokuvauksen käyttö suunnittelussa oli kokonaan uusi asia ja sen neuvoi yrityksen suunnittelija. Mallinnettava kohta kuvataan kameralla mahdollisimman kaukaa ja mahdollisimman suurella zoomilla. Tällöin kaarevien muotojen vääristyminen on vähäisintä. Kohteesta mitataan vertailumitta ohjelmassa skaalausta varten. Tämän jälkeen kuva avataan SolidWorks-ohjelmaan sketch picture -komennon kautta. Kuvan päälle piirretään mittatikku, joka on samanpituinen kuin kohteesta mitattu vertailumitta. Kuva skaalataan siten, että mittatikku sopii vertailumittan paikalle. Skaalauksen jälkeen aloitetaan kaaren tai muun muodon sovittaminen kuvan päälle.

Osien mallintamisen jälkeen tehtiin 53 piirustusta A3-piirustus pohjalle. Piirustukset tehtiin yrityksen käytäntöjen mukaisesti. Piirustuksissa ei ole vielä RAL-värikartan koodeja, koska lasikuituosien ja metalliosien värit on tarkoitus vaihtaa ja saada näin aikaan yhtenäinen ilme.

Osa kappaleista simuloitiin AutoPOL-ohjelmalla, minkä jälkeen tehtiin mallikappaleet osien sopivuuden varmistamiseksi ajoneuvon koriin. Koekappaleiden valmistus osoitti, että kaaret olivat oikean kokoisia. Valokuvaus on siten nopea ja yksinkertainen tapa mallinnuksen apuvälineenä.

#### 4.2 Liitosmenetelmät

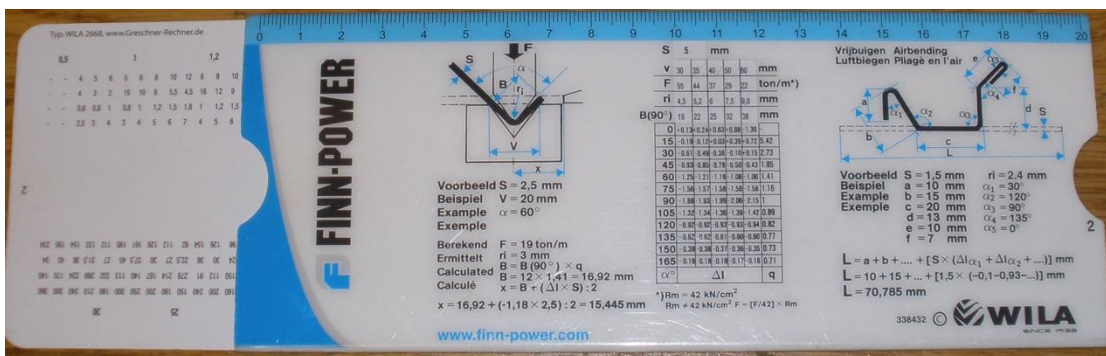
Levyosien kiinnittämiseen käytetään enimmäkseen pop-niittejä. Niittien osuus liitososista on noin 60 %; loput ovat ruuveja sen mukaan onko alustana metalli vai lasikuitu. Pop-niittejä ja porakärkiruuveja käytetään, kun liitosten takaosiin ei päästä käsiin. Ne ovat myös nopeita ja yksinkertaisia asentaa. Pop-niitille tehtävä reikä ei saa olla liian väljä, sillä muuten ei saavuteta riittävän suurta liitoslujuutta. Pahimmassa tapauksessa niitti ei leviä vastapuolelle vaan kiilautuu ulos reiästä. Porakärkiruuveja käytetään kiinnitettäessä enimmillään 2 mm paksuja levyjä, koska porakärki ei läpäise paksumpia materiaaleja.

Kokoonpanohitsaukseen ei perehdytä, koska siinä ei ilmennyt ongelmia. Kaikki osat ovat aina oikeilla kohdilla, koska osat hitsataan toisiinsa jigissä. Lisäksi kaikki hitsit ovat helposti luokse päästävissä.

### 4.3 Kaikkia levyosia koskevat muutokset

Kaikissa levytyökeskuksella valmistettavissa osissa hyödynnettiin alihankkijalta saatua levytyökeskuksen työkalulistaa. Esimerkiksi kaikki tarvittavat pyöritykset suunniteltiin säteillä 2,5, 4, 5 tai 10 mm, koska levytyökeskuksella oli saman säteiset työkalut. Samoin yksittäisten neliö- tai suorakaideaukkojen koko valittiin yhteensopiviksi työkalujen kanssa. Aukot pyrittiin aina suunnittelemaan valmistettavaksi yhdellä lävistyksellä, mutta joissain kohdissa oli käytettävä useampaa lävistystä. Alihankkijalla olevan levytyökeskuksen pisin suorakaidetyökalu on 80 mm pitkä. Tätä pidemmät suorat reunat tehdään levytyökeskuksella nakertamalla, koska levytyökeskuksessa ei ole laserleikkauslälaitetta.

Taivutettavien osien taivutussäteet valittiin Finn-Powerin taivutusmitta-asteikon avulla. Mitta-asteikon sisällä on liuska, jota liikuttamalla valitaan taivutettavan levyn paksuus (kuva 7). Tämän jälkeen ruudukossa näkyy suositellut taivutussäteet ja niillä tarvittava puristusvoima  $F$ , v-aukon leveys ja minimilaippapituus  $90^\circ$  taivutuksessa. Jos taivutuskulma ei ole  $90^\circ$ :ta, taivutusmitta-asteikossa olevassa taulukossa on korjauskertoimet ja vieressä laskuesimerkki minimilaippapituuden laskemiseksi. Valitut taivutussäteiden arvot eri levypaksuuksilla on esitetty taulukossa 4. Aikaisemmin levyjen taivutussäteet olivat samat kuin levyjen paksuudet, joten taivutussäteitä oli 11.



KUVA 7. Finn-Powerin taivutusmitta-asteikko.

Lähes kaikissa levyosissa vähennettiin reikiä, joista osat niitataan tai ruuvataan ajoneuvon koriin tai lasikuituosiin. Reikien vähentäminen nopeuttaa kokoonpanoa, koska koriin ei tarvitse porata reikiä tai asentaa liitososia. Liitososien vähentämisellä pyritään myös pienentämään sähköjohtojen rikkoutumisriskiä. Erityisesti takaovien sisällä kulkee sähköjohtoja, jotka ovat lähellä niittien kiinnityskohtia. Takaoviin kiinnitettävien levyosien reikien paikat tarkistettiin mallikappaleiden avulla, että kiinnityskohdat olisivat mahdollisimman kaukana johdoista.

TAULUKKO 4. Levyosien uudet materiaalityypit ja taivutussäteet.

Levyyn paksuus $t$ (mm)	Taivutussäde $r$ (mm)
1	1,8
2	3,6
3	3,6
5	6,0
8	12,0

Niittien vähentäminen oli mahdollista, koska niitin leikkauskestävyys on 2900 N ( $\approx 290$  kg) ja vetokestävyys 3100 N ( $\approx 310$  kg) (Würth 2009, 2.153). Suurimmissa levyosissa on 14–22 niittiä, jotka vähennettiin 10–17 niittiin levyosan muodon ja koon mukaan.

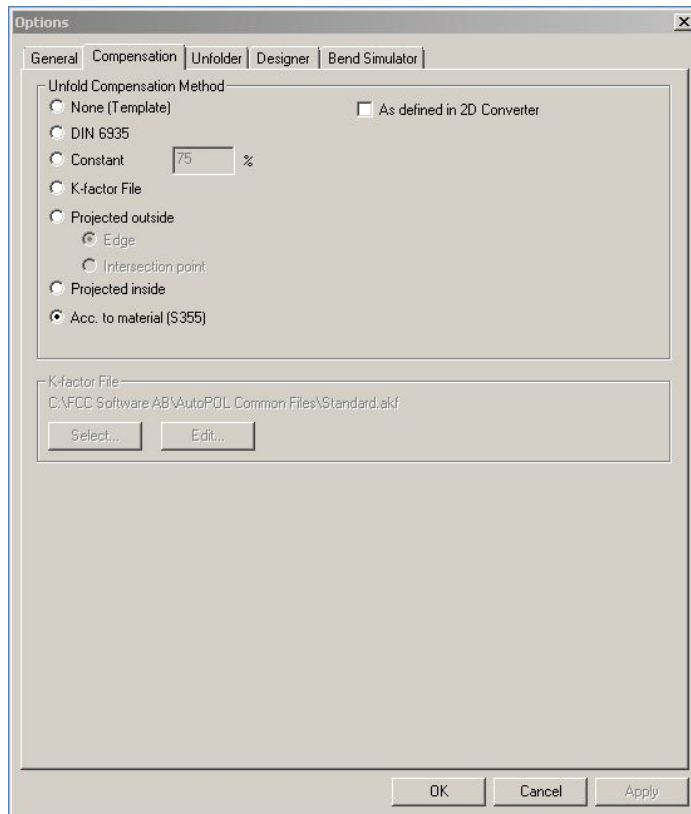
Työssä suunniteltujen levyosien liitososat vähenivät noin 50–70 kappaletta ajoneuvoa kohti. Ajoneuvoja menee noin 100 kappaletta vuodessa, joten liitososia kuluu vuodessa noin 5000–7000 kappaletta vähemmän. Lisäksi osista poistettiin kaikki ylimääräiset reiät, joita ei käytetty kiinnitykseen. Kappaleisiin oli jäänyt ylimääräisiä reikiä, koska osien sopivuutta koriin ei ollut testattu riittävästi.

## 5 TAIVUTUSTEN SIMULOINTI JA MALLIKAPPALEIDEN VALMISTUS

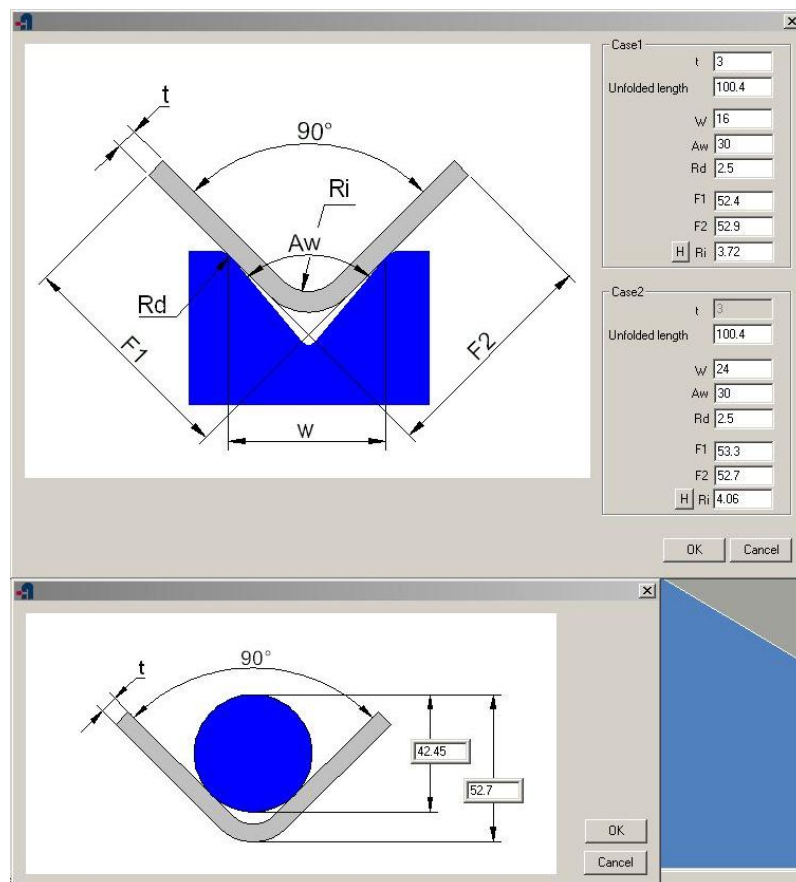
Levyosien taivutusten simulointiin käytettiin AutoPOL-ohjelmaa. Simuloinnin tarkoituksena on varmistaa kappaleiden taivutusmahdollisuus ja se, etteivät kappaleet törmää työkaluihin tai särmäyspuristimeen taivutuksen aikana. Simulointiohjelmasta saatiin myös levityskuvat, joita verrattiin SolidWorks-ohjelman levityskuviin. Levityskuvien tarkkuuteen kiinnitettiin erityistä huomiota, näin kappaleet olisivat oikean kokoisia taivutusten jälkeen. Mallikappaleiden avulla varmistetaan osien sopivuus ajo-neuvon koriin.

AutoPOL-ohjelmaan syötettiin Savonia-ammattikorkeakoululta saadut hitsaustekniikan laboratorion särmäyskoneen asetukset ja työkalut, koska mallikappaleet valmistettiin hitsaustekniikan laboratoriossa. Oikeat asetukset mahdollistavat simuloinnin tietokoneella samalla tavalla kuin se tapahtuisi laboratorion särmäyskoneella. Simuloinnin avulla saadaan tietoa siitä, ovatko osat valmistettavissa hitsaustekniikan laboratorion koneilla. Jos ne on mahdollista valmistaa hitsaustekniikan laboratoriossa, ne on mahdollista valmistaa myös alihankintayrityksissä, joilla on paljon laajempi työkaluvalikoima.

Levyosien 3D-mallit voidaan tehdä suoraan AutoPOL-ohjelmalla ja simuloida ne samalla kertaa. Levyosat mallinnettiin kuitenkin SolidWorks-ohjelmalla, koska yrityksellä ei ollut käytössä AutoPOL-ohjelmaa. Taivutusten simulointi aloitetaan tuomalla avoinna oleva 3D-malli SolidWorks-ohjelmasta. AutoPOL-ohjelma ei osaa avata suoraan SolidWorks-tiedostoja, sillä tuetut tiedostomuodot ovat pol, sat, ipt, stp, step, igs ja iges. Seuraavaksi valitaan menetelmä, jolla ohjelma laskee oikaistun pituuden. Vaihtoehtoja on seitsemän, ja ne on esitetty kuvassa 8. Tässä työssä käytettiin materiaalin mukaista menetelmää, jolla saadaan tarkimmat tulokset. Ensin leikattiin kaksi suorakaiteen muotoista levyn palaa, jotka mitattiin. Levynpalat leikattiin plasmalla, minkä vuoksi pituus suorana vaihteli keskeltä ja reunoilta mitattaessa. Tämän vuoksi kaikki mittaukset tehtiin kappaleen keskeltä, jotta mittavaihteluita tulisi mahdollisimman vähän. Tämän jälkeen kappaleet taivutettiin suunnilleen keskeltä ja mitattiin uudelleen. Lopuksi tiedot syötettiin kuvan 9 mukaiseen tietokenttään. Kahden mallikappaleen avulla ohjelma pystyy laskemaan k-kertoimet ja taivutussäteet eri levypak-suuksille, taivutuskulmille ja työkaluille. Jos kappaleet on valmistettu eri materiaalista, jokaisesta materiaalista olisi tehtävä mallikappaleet. Levyosissa käytetään rakenneterästä S355MC ja kylmävalssattua terästä DC01 Am.



KUVA 8. AutoPOL-ohjelman vaihtoehtoja oikaistun pituuden määrittämiseksi.



KUVA 9. Mallikappaleista mitattavat tiedot, joilla AutoPOL laskee materiaalin käyttäytymisen taivutuksessa.

Mallikappaleet tehtiin vain rakenneteräksestä, koska kylmävalssatun levyn koekappaleet oli tehty hitsaustekniikan laboratoriossa ja niiden arvot oli jo syötetty ohjelmaan. Ennen jokaisen kappaleen simulointia on tarkistettava materiaali, sillä väärä materiaali antaa vääriä tuloksia.

Taivutussäteeseen vaikuttaa eniten alatyökalun v-aukon leveys. Mitä suurempi v-aukko sitä suurempi taivutussäde kappaleeseen tulee. Finn-Powerin taivutusmitta-asteikolla 3 mm levyllä suositeltavia v-aukon leveyksiä ovat 20, 21, 24, 30 ja 40 mm. Hitsaustekniikan laboratoriossa oli käytettävissä vain v-aukon leveydet 16 ja 24 mm, joten mallikappaleita ei voitu tehdä aivan mitta-asteikon suositusten mukaisesti. Taivutusmitta-asteikosta ja mallikappaleista saatujen taivutussäteiden erot on esitetty taulukossa 5. Erot johtuvat todennäköisesti osittain mittausvirheistä, koska jo 0,1 mm ero missä tahansa mitatussa arvossa muutti taivutussädettä  $\pm 0,1$ – $0,3$  mm. Jos useammassa mitatussa arvossa on virhettä huonoimpaan mahdolliseen suuntaan, mallikappaleiden avulla saadut taivutussäteet eivät ole tarkkoja. Taivutussäteiden eroilla ei ole suurta merkitystä kappaleissa, joissa on muutama taivutus. Jos taivutuksia on useita peräkkäin, niin virheet alkavat kasaantua ja erot ovat merkittäviä.

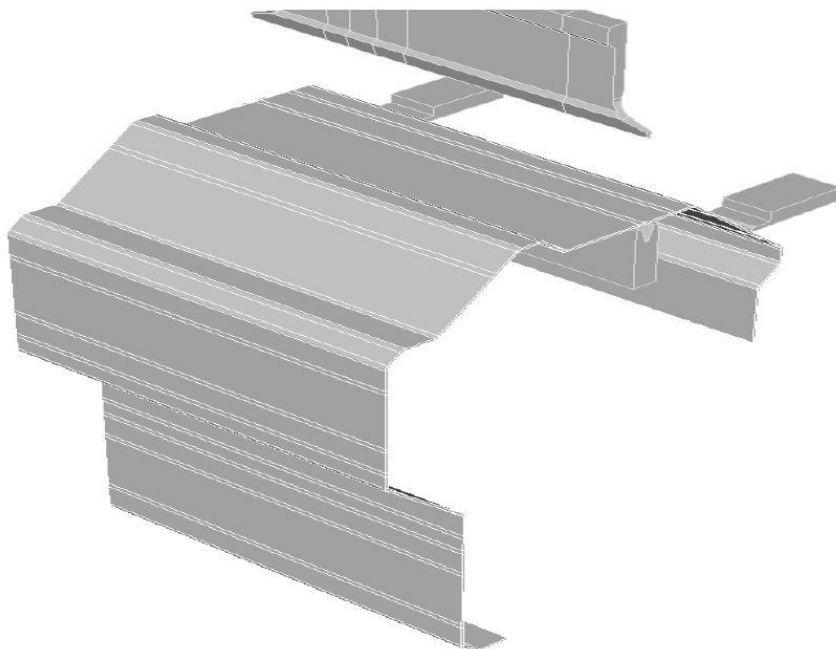
Mallikappaleiden taivutussäteet saatiin AutoPOL-ohjelmasta, kun siihen syötettiin mitat kuvan 9 alalaidassa oleviin kohtiin. Taivutusmitta-asteikon perusteella 16 mm leveää v-aukkoa ei saisi käyttää 3 mm levyllä, koska taivutussäteeksi tulisi alle 3 mm. Koekappaleiden valmistus kuitenkin osoitti, että 16 mm leveällä v-aukolla saadaan taivutussäteeksi noin 3,7 mm. Taivutusmitta-asteikon suositukset erosivat samalla tavalla myös kylmävalssatulla levyllä. Taivutusmitta-asteikossa ei ole mainintaa mille materiaalille taivutussäteet ja v-aukon leveydet on laskettu. Ainut merkintä on murtolujuus  $420 \text{ N/mm}^2$ , jota käytetään taivutusvoiman laskennassa. Kyseinen arvo voi olla kylmävalssatun levyn murtolujuuden yläraja tai kuumavalssatun levyn alaraja.

TAULUKKO 5. Taivutusmitta-asteikosta ja mallikappaleista saatujen taivutussäteiden erot eri v-aukon leveyksillä levypaksuudella 3 mm. Mallikappaleiden taivutussäteet on saatu AutoPOL-ohjelmasta.

<b>v-aukon leveys (mm)</b>	<b>r (mm) taivutusmitta- asteikosta</b>	<b>r (mm) mallikappaleista</b>
16	-	3,7
20	3,0	-
21	3,1	-
24	3,6	4,1
30	4,5	-
40	6,0	-

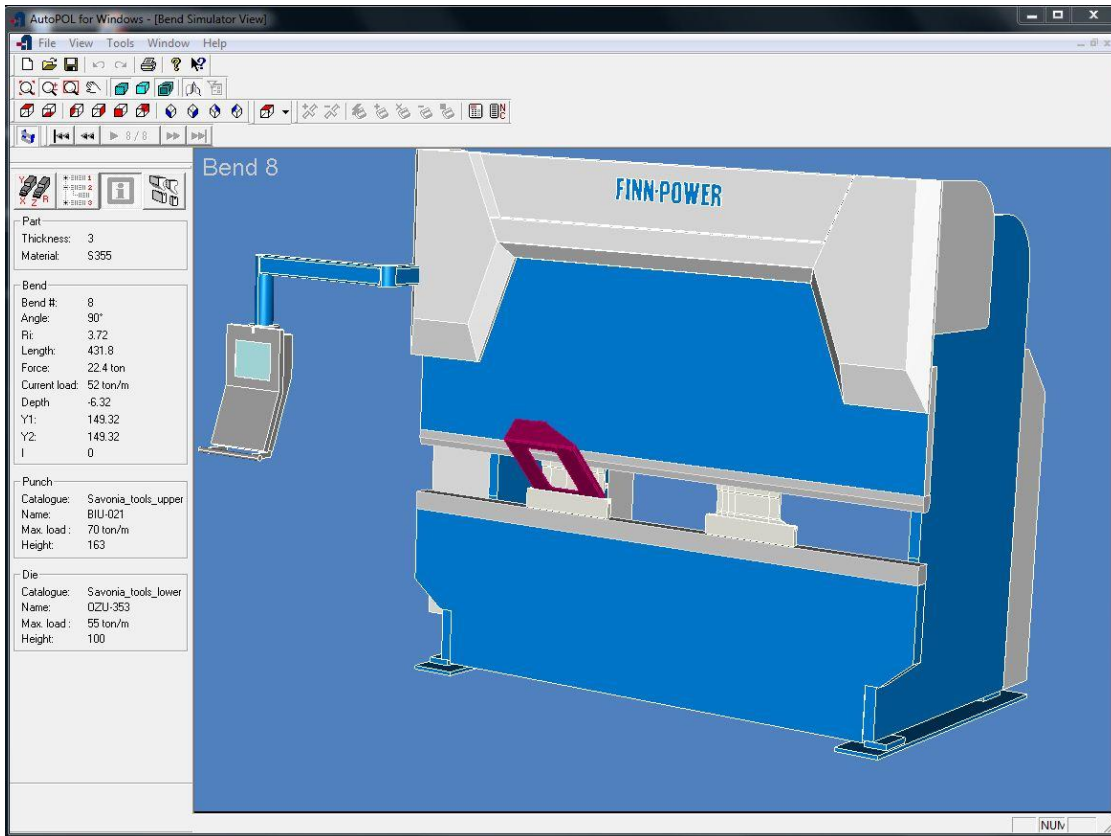
Automaattinen levityskuvan tekeminen onnistuu simulointiohjelmassa napin painalluksella, kun kappale on tehty SolidWorks-ohjelman sheet metal -työkaluilla. Jos kappale on tehty jollain muulla tavalla, taivutusten paikat pitää valita manuaalisesti. Ennen simulointia tallennetun levityskuvan mitat pitävät paikkansa SolidWorks-ohjelmalla tehdyn levityskuvan kanssa. Tämä johtuu siitä, että simulointiohjelma laskee oikaistun pituuden käyttäen 3D-mallin taivutussäteitä. Valituilla työkaluilla ei välttämättä saavuteta täsmälleen samoja taivutussäteitä, joten simuloinnin jälkeen tallennetun levityskuvan mitat poikkeavat ennen simulointia tehdystä levityskuvasta.

Levityskuvan jälkeen avataan taivutussimulaattori, valitaan työkalut ja laitetaan ohjelma etsimään taivutusjärjestyksiä. Tämän jälkeen valitaan mieleinen taivutusjärjestys, jota voi muuttaa manuaalisesti siirtämällä taivutuksia ylös- tai alaspäin taivutusten piirrepuussa. Useamman samansuuntaisen taivutuksen taivutusjärjestyksen valinta ei ohjelmalta oikein onnistu, koska kappaleen asettelu takavasteisiin olisi oikeasti mahdotonta (kuva 10). Kuvassa olevan kappaleen taivutus tulisi aloittaa keskeltä ja edetä siitä kappaleen päätä kohti, siten että kappale pysyisi mahdollisimman tasomaisena taivutuksen ajan. Taivutuksia tulisi tehdä siten vuorotellen eri suuntiin. Sama toistetaan kappaleen toiselle puoliskolle. Kappaleen pääty tulisi aina asettaa tukevasti takavasteita vasten tai niiden päälle.



KUVA 10. AutoPOL-ohjelman määrittämä taivutusjärjestys, jossa kappaleen asettelu tarkasti takavasteisiin on mahdotonta.

Kun taivutusjärjestys on valittu, taivutukset simuloidaan ja katsotaan ovatko taivutukset mahdollisia. Törmäyksen sattuessa simulointi pysähtyy ja törmäyskohtaa voi tarkastella lähemmin. Törmäystä voi yrittää korjata työkalujen vaihdolla, kappaleen käännöllä tai muuttamalla taivutusjärjestystä. Jos nämä eivät auta kappale on suunniteltava toisenlaiseksi. Kuvassa 11 on simuloitu istuimen runko. Kuvan vasemmassa laidassa ovat taivutuksen tiedot ja käytetyt työkalut.



KUVA 11. AutoPOL-ohjelman simulointinäkymä. Taivutustiedot ja käytetyt työkalut näkyvät vasemmassa laidassa.

Simulointi tehtiin jokaiselle levypaksuudelle, jotta nähdään kuinka paljon ohjelmien tekemät levityskuvat eroavat toisistaan. Työkalut valittiin niin, että taivutussäteet ovat suunnilleen samat kuin piirustuksissa. Tämä päätös johti siihen, että v-aukon leveyden suosituksia ei noudatettu. Työkalujen kestävyys suosituksia ei kuitenkaan ylitetty, sillä esimerkiksi v-aukolla 16 mm suurin taivutettavan teräslevyn paksuus on 4 mm. Suurin ero yhden taivutuksen jälkeen oli 8 mm paksuissa väliseinän yläkiinnikkeissä. Levityskuvien mittojen välinen ero oli noin 1 mm. Kiinnikkeissä ei ollut useampia taivutuksia, joten ero ei muodostunut merkittäväksi osien toiminnallisuuden kannalta. Kiinnikkeiden kiinnitysreiät on tehty soikeiksi, jolloin kiinnikkeiden mittojen tai kiinnityskohtien ei tarvitse olla aivan kohdillaan.



Levyypaksuuksilla 1–5 mm erot olivat välillä 0,1–0,6 mm, kun taivutuksia oli alle kahdeksan. Suurimmissa levyosissa taivutuksia on 12–30, jolloin oikaistut pituudet erosivat toisistaan 1,5–4 mm. SolidWorks-ohjelman levityskuvat olivat aina lyhyempiä kuin AutoPOL-ohjelman. Koska ei oltu varmoja, kumman ohjelman oikaistu pituus on oikea, tehtiin mallikappaleet SolidWorks-ohjelman levityskuvista. Mallit tehtiin vain niistä kappaleista, joiden mittojen täytyi olla tarkkoja.

Mallikappaleet tehtiin kolmestatoista osasta, joita oli muutettu merkittävästi tai joiden sopivuuden täytyi olla tarkka. Kappaleiden DXF-kuvat siivottiin Mastercam-ohjelmalla ja kappale siirrettiin origoon. Kuviin jätettiin levityskuvan ääriviivat, aukot ja taivutusviivojen paikat. Kaikki muut merkinnät ja mitat poistettiin, etteivät ne häiritse NC-ohjelman tekemistä. NC-ohjelma siirrettiin plasmaleikkauskoneelle ja kukin kappale leikattiin oikean paksuisesta levystä. Leikkauksen jälkeen purseet poistettiin paineilmataltalla, etteivät ne vaikuta särmäystulokseen. Lopuksi kappaleet taivutettiin särmäyspuristimella käsiohjelmoinnilla. Taivutukset oli tarkoitus tehdä AutoPOL-ohjelmalla tehtyjen NC-ohjelmien mukaisesti, mutta kappaleiden 3D-mallit eivät auenneet jostain syystä särmäyspuristimella. Tämän vuoksi monimutkaisimmista kappaleista ei nähty visuaalisesti taivutusjärjestystä, joten oli helpointa siirtyä käsiohjelmointiin. AutoPOL-ohjelma on vasta otettu käyttöön Savonia-ammattikorkeakoululla, joten asetuksissa voi olla hienosäätöä. Kaikkia taivutuksia ei pystytty tekemään hitsaustekniikan laboratorion särmäyspuristimella, koska alatyökaluista ei ollut palasarjoja. Keskenäisiksi jääneet kappaleet vietiin alihankintayritykseen, joka teki tarvittavat taivutukset.

Taivutusten jälkeen kappaleet mitattiin, ja ne olivat oikean kokoisia  $\pm 1$  mm tarkkuudella suurimpia levyosia lukuun ottamatta. Kolme suurinta levyosaa olivat 4 mm pidempiä kuin piirustuksissa. Yhden erikoisosan mittavirhe ei kuitenkaan haitannut, koska kiinnityskohdan molemmin puolin on runsaasti tilaa. Kaksi muuta levyosaa eivät käyneet paikoilleen, joten kaikkia kulmia taivutettiin 2–4°:tta enemmän kuin piirustuksissa. Taivutusten jälkeen toinen osa oli oikean kokoinen, mutta toisessa oli tullut isompi mittausrvirhe. Osa oli 5 mm liian pitkä sille tarkoitettuun kohtaan ja sitä jouduttiin lyhentämään. Tämän jälkeen saatiin oikeat mitat 3D-malliin. Mallien mitta-  
muutoksien jälkeen 3D-mallien k-kertoimia muutettiin, siten että levityskuvat olivat noin 3–4 mm lyhyempiä kuin valmistetuissa kappaleissa. k-kertoimen arvoksi tuli tällöin 0,43. k-kertoimen muuttaminen ei vaikuta 3D-mallin ulkomittoihin vaan ainoastaan levityskuvan mittoihin.

Jos levityskuvat olisi otettu AutoPOL-ohjelmasta, levyosat olisivat olleet 8 mm pidempiä kuin piirustuksissa. Tämä johtuu siitä, että AutoPOL-ohjelman levityskuvat olivat 4 mm pidempiä kuin SolidWorks-ohjelman levityskuvat, joiden mukaan levyosat valmistettiin. Simuloinnin ja mallikappaleiden tuloksena tehtiin kaksi huomiota:

- SolidWorks-ohjelman levityskuvat pitävät paikkansa, jos työkaluilla saadaan aikaiseksi suunnilleen samat taivutussäteet kuin piirustuksissa ja kappaleissa on alle 10 taivutusta. Muulloin on tehtävä koekappale ja korjattava k-kerroin, jos kappaleesta halutaan juuri oikean kokoinen.
- Käytettäessä suositeltuja v-aukon leveyksiä, ensin olisi tehtävä mallikappaleet ja syötettävä tiedot simulointiohjelmaan. Tämän jälkeen simulointiohjelmasta saadaan käytetyillä työkaluilla syntyvät taivutussäteet, joita olisi käytettävä piirustuksissa.

## 6 YHTEENVETO

Työn tavoitteena oli nopeuttaa erikoisajoneuvon levyosien valmistusta ja kokoonpanotyötä sekä tehdä 3D-mallit ja valmistuspiirustukset kehitetyistä osista. Työn tuloksena levyjen paksuusvalikoima pieneni yhdestätoista viiteen ja materiaalilaadut kuudesta kolmeen. Tämä kasvattaa jäljelle jäävien levyjen käyttöastetta, pienentää osien valmistuskustannuksia ja nopeuttaa niiden valmistusta. Alumiinista kylkijäykistettä lukuun ottamatta kaikki kappaleet valmistetaan kahdesta kylmämuovattavasta teräslajista: kylmävalssatusta teräksestä DC01 Am ja kuumavalssatusta rakenneteräksestä S355MC. Kaikista piirustuslistassa olleista osista tehtiin valmistuspiirustukset ja DXF-kuvat. Valmistettavien osien määrä väheni kahdeksalla ja piirustukset kahdellakymmenelläviidellä. Piirustusten määrä väheni enemmän, koska putkirungoissa käytettiin SolidWorks-ohjelman structural member -komentoa.

Metalliosien sovitus työ jäi kokonaan pois, kun osista tehtiin mallikappaleet, jotka sovitettiin ajoneuvon koriin. Liitososien asennus on nopeampaa oikeilla kohdilla olevien esireikien ansiosta. Tulevaisuudessa levyosien suunnittelua helpottavat piirustuslistaan merkityt materiaalit, levypaksuudet ja niille valitut taivutussäteet. Tällöin suunnittelijan ei tarvitse miettiä uusia osia suunnitellessaan mitä materiaaleja, paksuuksia tai taivutussäteitä käytetään. Täytyy olla hyvin perusteltu syy, jos käytetyistä materiaaleista, levypaksuuksista tai taivutussäteistä poiketaan.

Tärkeimmät huomioon otettavat asiat levyosien suunnittelussa ovat taivutussäde, minimilaippakorkeus ja reikien sekä aukkojen etäisyydet toisistaan ja kappaleen reunoista. Nämä asiat vaikuttavat kappaleiden valmistettavuuteen ja laatuun. Levyosien suunnittelu ei ole niin yksinkertaista, kuin sen luulisi olevan. Jos kappaleista halutaan todella mittatarkkoja, ennen yhdenkään osan suunnittelua olisi tehtävä mallikappaleet käytettävillä materiaaleilla ja suositelluilla v-aukon leveyksillä. Tämän jälkeen tarkasti mitatut arvot olisi syötettävä simulointiohjelmaan, jonka laskemia taivutussäteitä käytettäisiin 3D-malleissa. Tämäkään ei aina riitä, kuten simuloinnissa huomattiin: suurilla taivutuskulmilla saatavat taivutussäteet eivät pidä paikkaansa. Tällöin on turvaututtava mallikappaleisiin ja korjattava mittavirheet k-kertoimen avulla. Lisäksi tuote on suunniteltava valittujen valmistusmenetelmien rajoitukset ja hyödyt huomioon ottaen.

Työ toteutui alussa suunnitellun aikataulun mukaisesti ja kaikki opinnäytetyölle asetetut tavoitteet saavutettiin tuloksekkaasti. Osa suunnitelluista osista on jo tuotannossa, koska niissä olleet virheet aiheuttivat ylimääräistä työtä kokoonpanon jälkeen. Työn aikana opittiin hyödyntämään muun muassa valokuvausta kappaleiden mallintamisessa, simuloimaan levyosien taivutuksia, tekemään NC-ohjelmia plasmaleikkauskooneelle ja särmäyspuristimelle sekä käyttämään särmäyspuristinta sujuvasti ja turvallisesti. Opinnäytetyön aikana opittiin myös paljon levyosien suunnittelusta ja levyn käyttäytymisestä taivutuksen aikana. Tämän työn tekeminen antoi hyvän pohjan levyosien suunnitteluun tulevaisuudessa.

## LÄHTEET

Aaltonen, K., Andersson, P & Kauppinen, V. 1997. *Levytyö- ja työvälinetekniikat*. Porvoo: WSOY.

Ashby, M. & Johnson, K. 2010. *Materials and Design - The Art and Science of Material Selection in Product Design* [e-kirja]. Knovel, Elsevier. [viitattu 12.3.2011]. Saatavissa: [http://www.knovel.com.ezproxy.savonia-amk.fi:2048/web/portal/knovel\\_content?p\\_p\\_id=EXT\\_KNOVEL\\_CONTENT&p\\_p\\_action=1&p\\_p\\_state=normal&p\\_p\\_mode=view&p\\_p\\_col\\_id=column-1&p\\_p\\_col\\_count=1&\\_EXT\\_KNOVEL\\_CONTENT\\_struts\\_action=/ext/knovel\\_content/view&\\_EXT\\_KNOVEL\\_CO](http://www.knovel.com.ezproxy.savonia-amk.fi:2048/web/portal/knovel_content?p_p_id=EXT_KNOVEL_CONTENT&p_p_action=1&p_p_state=normal&p_p_mode=view&p_p_col_id=column-1&p_p_col_count=1&_EXT_KNOVEL_CONTENT_struts_action=/ext/knovel_content/view&_EXT_KNOVEL_CO)

Bralla, J. G. 1999. *Design for Manufacturability Handbook* [e-kirja]. Knovel, McGraw-Hill. [viitattu 12.2.2011]. Saatavissa: [http://www.knovel.com.ezproxy.savonia-amk.fi:2048/web/portal/knovel\\_content?p\\_p\\_id=EXT\\_KNOVEL\\_CONTENT&p\\_p\\_action=1&p\\_p\\_state=normal&p\\_p\\_mode=view&p\\_p\\_col\\_id=column-1&p\\_p\\_col\\_count=1&\\_EXT\\_KNOVEL\\_CONTENT\\_struts\\_action=/ext/knovel\\_content/view&\\_EXT\\_KNOVEL\\_CO](http://www.knovel.com.ezproxy.savonia-amk.fi:2048/web/portal/knovel_content?p_p_id=EXT_KNOVEL_CONTENT&p_p_action=1&p_p_state=normal&p_p_mode=view&p_p_col_id=column-1&p_p_col_count=1&_EXT_KNOVEL_CONTENT_struts_action=/ext/knovel_content/view&_EXT_KNOVEL_CO)

Geng, H. 2004. *Manufacturing Engineering Handbook*. [e-kirja]. Knovel, McGraw-Hill. [viitattu 11.3.2011]. Saatavissa: [http://www.knovel.com.ezproxy.savonia-amk.fi:2048/web/portal/knovel\\_content?p\\_p\\_id=EXT\\_KNOVEL\\_CONTENT&p\\_p\\_action=1&p\\_p\\_state=normal&p\\_p\\_mode=view&p\\_p\\_col\\_id=column-1&p\\_p\\_col\\_count=1&\\_EXT\\_KNOVEL\\_CONTENT\\_struts\\_action=/ext/knovel\\_content/view&\\_EXT\\_KNOVEL\\_CO](http://www.knovel.com.ezproxy.savonia-amk.fi:2048/web/portal/knovel_content?p_p_id=EXT_KNOVEL_CONTENT&p_p_action=1&p_p_state=normal&p_p_mode=view&p_p_col_id=column-1&p_p_col_count=1&_EXT_KNOVEL_CONTENT_struts_action=/ext/knovel_content/view&_EXT_KNOVEL_CO)

Hietikko, E. 2008. *Tuotekehitystoiminta*. Savonia-ammattikorkakoulun julkaisusarja B 2/2008. Kuopio: Savonia-ammattikorkeakoulun kuntayhtymä.

Karppinen, A. 1986. *Ohutlevyjen taivutus*. Tekninen tiedotus 23/86. Helsinki: Metalliteollisuuden kustannus Oy.

Keinänen, T. & Kärkkäinen, P. 2009. *Konetekniikan perusteet*. Helsinki: WSOY Oppimateriaalit Oy.

Koivisto, K., Laitinen, E., Niinimäki, M., Tiainen, T., Tiilikka, P. & Tuomikoski, J. 2004. *Konetekniikan materiaalioppi*. Helsinki: Edita Prima Oy.

Kujanpää, V., Salminen, A. & Vihinen, J. 2005. *Lasertyöstö*. Teknologiaateollisuuden julkaisuja nro 3/2005. Helsinki: Teknologiaateollisuus ry.

Lempiäinen, J. & Savolainen, J. 2003. *Hyvin suunniteltu - puoliksi valmistettu*. Helsinki: Hakapaino Oy.

Matilainen, J., Parviainen, M., Havas, T., Hiitelä, E. & Hultin, S. 2011. *Ohutlevytuotteiden suunnittelijan käsikirja*. Teknologiaateollisuuden julkaisu 6/2010. Helsinki: Teknologiaateollisuus ry.

Mäki-Mantila, J. 2001. *Ohutlevyjen taivutus ja muovaus*. Tekninen tiedotus, MET-julkaisuja nro 11/2001. Helsinki: Metalliteollisuuden keskusliitto, MET.

Pahl, G., Beitz, W., Feldhusen, J. & Grote, K. H. 2007. *Engineering Design*. London: Springer.

SFS-EN 10025-2 2004. *Kuumavalssatut rakenneteräkset. Osa 2: Seostamattomat rakenneteräkset. Tekniset toimitusehdot*. Teknologiateollisuus ry. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS ry.

SFS-EN 10130 2007. *Kylmävalssatut kylmämuovattavat ohutlevyteräkset. Tekniset toimitusehdot*. Metalliteollisuuden Standardisointiyhdistys ry. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS ry.

SFS-EN 10149-1 1996. *Kuumavalssatut lujat kylmämuovattavat teräslevytuotteet. Osa 1: Yleiset toimitusehdot*. Metalliteollisuuden standardisoimiskeskus. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS ry.

SFS-EN 10149-2 1996. *Kuumavalssatut lujat kylmämuovattavat teräslevytuotteet. Osa 2: Termomekaanisesti valssattujen terästen toimitusehdot*. Metalliteollisuuden standardisoimiskeskus. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS ry.

Thompson, R. 2007. *Manufacturing Processes for Design Professionals*. London: Thames & Hudson Ltd.

Walsh, R. A. 2000. *Electromechanical Design Handbook*. [e-kirja]. Knovel, McGraw-Hill. [viitattu 22.3.2011] Saatavissa: [http://www.knovel.com.ezproxy.savonia-amk.fi:2048/web/portal/knovel\\_content?p\\_p\\_id=EXT\\_KNOVEL\\_CONTENT&p\\_p\\_action=1&p\\_p\\_state=normal&p\\_p\\_mode=view&p\\_p\\_col\\_id=column-1&p\\_p\\_col\\_count=-1&\\_EXT\\_KNOVEL\\_CONTENT\\_struts\\_action=/ext/knovel\\_content/view&\\_EXT\\_KNOVEL\\_CO](http://www.knovel.com.ezproxy.savonia-amk.fi:2048/web/portal/knovel_content?p_p_id=EXT_KNOVEL_CONTENT&p_p_action=1&p_p_state=normal&p_p_mode=view&p_p_col_id=column-1&p_p_col_count=-1&_EXT_KNOVEL_CONTENT_struts_action=/ext/knovel_content/view&_EXT_KNOVEL_CO)

Würth 2009. *Vetoniitit*. [Online kuvasto tammikuu 2009] [viitattu 6.3.2011] Saatavissa: <http://www.wurth.fi/site/media/pdf/tuotekuvasto/tuotteet/kiinnitystarvikkeet/Niitit.pdf>

Yang, K. & El-Haik, B. S. 2008. *Design for Six Sigma - A Roadmap of Product Development (2nd Edition)*. [e-kirja], Knovel, McGraw-Hill. [viitattu 31.3.2011] Saatavissa: [http://www.knovel.com.ezproxy.savonia-amk.fi:2048/web/portal/knovel\\_content?p\\_p\\_id=EXT\\_KNOVEL\\_CONTENT&p\\_p\\_action=1&p\\_p\\_state=normal&p\\_p\\_mode=view&p\\_p\\_col\\_id=column-1&p\\_p\\_col\\_count=1&\\_EXT\\_KNOVEL\\_CONTENT\\_struts\\_action=/ext/knovel\\_content/view&\\_EXT\\_KNOVEL\\_CO](http://www.knovel.com.ezproxy.savonia-amk.fi:2048/web/portal/knovel_content?p_p_id=EXT_KNOVEL_CONTENT&p_p_action=1&p_p_state=normal&p_p_mode=view&p_p_col_id=column-1&p_p_col_count=1&_EXT_KNOVEL_CONTENT_struts_action=/ext/knovel_content/view&_EXT_KNOVEL_CO)



---

[www.savonia.fi](http://www.savonia.fi)

